

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

***ESTRUCTURA CICLORUTA METODO CONVENCIONAL Y ELEMENTOS FINITOS,
CANAL SALITRE ENTRE CALLE 91 Y AV CARRERA 68***

ORLANDO RIVERA PEREZ

MIGUEL BALAGUERA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTA D.C.**

2019

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

***ESTRUCTURA CICLORUTA METODO CONVENCIONAL Y ELEMENTOS FINITOS,
CANAL SALITRE ENTRE CALLE 91 Y AV CARRERA 68.***

**ORLANDO RIVERA PEREZ
MIGUEL BALAGUERA**

**DOCENTE
JUAN GABRIEL BASTIDAS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTA D.C.
2019**



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	5
1. GENERALIDADES	6
1.1.Planteamiento del problema	6
1.2.Red de Ciclorutas en Bogotá	9
1.3.Justificación	9
2. OBJETIVOS	11
2.1.Objetivo General	11
2.2.Objetivos Específicos	11
3. MARCO REFERENCIAL	11
3.1.Marco legal	11
3.1.1. Mantenimiento y construcción de ciclorutas	11
3.1.2. Diseños de cicloruta	12
3.1.3. Entorno ambiental y social	15
3.1.4. Plan de manejo de transito	17
3.2.MARCO TEORICO	17
3.2.1. Tipología de Ciclorutas	17
3.2.2. Alternativas de Ciclorutas	17
3.2.3. Velocidad de Referencia	18
3.3. MARCO CONCEPTUAL	19
3.3.1. Que es una rehabilitación	19
3.3.2. Generalidades	19
3.3.3. Metodología de diseño AASTHO y SHELL	20
3.3.4. Ensayos y laboratorios	21
3.3.5. ESTADO DEL ARTE	22
4. DESCRIPCIÓN DE LUGAR Y TIEMPO	24
5. METODOLOGÍA	25
5.1.Estructuración técnica	25
5.2.Datos Obtenidos	26
5.2.1. Métodos Finitos	36
6. CONCLUSIONES	45
7. BIBLIOGRAFÍA	46
8. ANEXOS Apiques (Medio Magnético)	

LISTA DE IMAGENES

Imagen 1. Red de ciclorutas en Bogotá	8
Imagen 2. Cicloruta del canal del salitre.	9
Imagen 3. Cicloruta canal salitre.	10
Imagen 4. Descripción espacios requeridos en cicloruta	18
Imagen 5. Cicloruta canal salitre	24
Imagen 6. Cicloruta canal salitre	25

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1.	14
Grafica 2.	15
Grafica 3.	28
Grafica 4.	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Red de Ciclorutas Bogotá	6
Tabla 2. Abaco de diseño en relación a las características del material de soporte – Ciclorruta	13
Tabla 3. Tipo de subrasante CBR	13
Tabla 4.	13
Tabla 5. Longitudes Por Tramo	19
Tabla 6. Datos obtenidos	26
TABLA 7.	27
Tabla 8.	28
Tabla 9. Tramo 1	29
tabla 10 tramo 2	29
tabla 11 tramo 3	30
tabla 12 tramo 4	30
tabla 13 calculo 1	31
tabla 14 calculo 2	31
Tabla 15. ley de comportamiento	32
Tabla 16. Método Shell y Windepav Tramo 1	32
Tabla 17. Método Shell y Windepav Tramo 2	33
Tabla 18. Método Shell y Windepav Tramo 3	33
Tabla 19. Método Shell y Windepav Tramo 4	33
Tabla 20. Comparación de espesores Tramo 1	34
Tabla 21. Comparación de espesores Tramo 2 y 4	34
Tabla 22. Comparación de espesores Tramo 3	34
Tabla 23. Pesaje y toma de presión	34

INTRODUCCIÓN

El uso de la bicicleta en la ciudad de Bogotá tiene su origen a mediados de los años 70, cuando se convirtió en la ciudad pionera de la ciclovia, donde cerca de 1.7 millones de personas en bicicleta transitaban cada domingo y festivo, sin embargo tardaría 2 décadas en que la bicicletas fuera tomada como medio cotidiano de transporte, a finales de los años 90 y principio de los 2000 empezó a ser el medio más utilizado de movilidad, en este periodo se construyeron en la ciudad de Bogotá, se construyeran 304 kilómetros de ciclorruta, logrando que miles de personas empezaran a ver la posibilidad de utilizar la bicicleta como medio de transporte, actualmente la ciudad de Bogotá cuenta con 313 kilómetros de ciclorruta a lo largo de sus principales vías, logrando 635 mil viajes al día y 25 000 usuarios.

En este proyecto de grado se realizará el estudio de estructura contemplada en un tramo de la ciclorruta localizada en el canal Salitre de la ciudad de Bogotá, la cual comprende una longitud de 6.20 kilómetros, y requiere realizar el mantenimiento de sus estructura y carpeta asfáltica.

1. GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema.

Las ciclorrutas de Bogotá se diseñaron teniendo en cuenta la morfología y topografía de la ciudad, que en el sentido norte-sur es relativamente plana y en el sentido este-oeste presenta diversos tipos de pendientes. Así mismo, se determinó la siguiente jerarquía de redes de ciclorrutas que se articulan y complementan dentro del sistema:

Red principal: Une en forma directa y expedita los polos de atracción de la ciudad como son los centros de empleo y educación con las áreas residenciales más densas, recogiendo además flujos de ciclistas de la red secundaria.

Red secundaria: Alimenta a la red principal, conecta centros de vivienda o centros de atracción con la red principal, cumple funciones de colector y distribución de los flujos de ciclistas desde los centros de atracción o centros de vivienda, hacia la red principal.

Red complementaria: Enlaza y da continuidad a la red. Esta red está constituida por tramos de ciclorruta, necesarios para completar el sistema de malla y distribuir flujos de ciclistas en sectores específicos. Comprende la red ambiental y recreativa, las redes locales y de barrio y el sistema de parques lineales.

1.2. Tabla 1. RED DE CICLORUTAS DE BOGOTA

RUTA	CORREDOR	RECORRIDO	LONGITUD (KM)
R2	<u>Norte-Quito-Sur</u>	Desde la <u>avenida del Ferrocarril</u> con <u>calle 179</u> y la <u>avenida Ciudad de Quito</u> hasta la <u>transversal 30</u> .	26,5
R3	Carrera 17	Desde <u>Los Héroes</u> - <u>Calle 26</u> - <u>avenida Los Comuneros</u> hasta la <u>calle 27 Sur</u> .	11,8
R4	Av. Constitución	Desde la <u>calle 170</u> por el <u>canal de Córdoba</u> , la <u>avenida Constitución</u> y el <u>río Fucha</u> hasta la <u>carrera 30</u> .	24,1
R5 Tc.	<u>Av. Boyacá</u>	Desde la <u>calle 80</u> hasta la <u>avenida El Dorado</u> .	4,2
R5	<u>Av. Boyacá</u>	Desde la <u>avenida El Dorado</u> hasta la <u>avenida Villavicencio</u> .	20,3
R6	Av. Las Villas	Desde la <u>calle 170</u> , la <u>carrera 66</u> y la <u>diagonal 126</u> hasta la <u>avenida Ciudad de Cali</u> .	7,6
R7	Carrera 19	Desde la <u>carrera Séptima</u> por la <u>calle 161</u> y la <u>carrera 19</u> hasta la <u>avenida NQS</u> .	12,4
R8	<u>Av. Ciudad de Cali</u>	Desde la <u>calle 170</u> hasta <u>Bosa</u> .	21,8

**Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68**

RUTA	CORREDOR	RECORRIDO	LONGITUD (KM)
R9	<u>Av. Longitudinal de Occidente (ALO).</u>	Peaje Torca hasta la Autopista Sur.	24,2
R10	<u>Carrera 50 - Transversal 47</u>	Desde la calle 63, la carrera 50, la avenida de las Américas, la transversal 47 y la transversal 44 hasta el río Bogotá.	11,1
R12	Av. 13 Sur	Desde la avenida 13 sur, la calle 54 sur y el parque Barrio Barranquillita.	11,2
R13	<u>Av. Villavicencio</u>	<u>Desde la avenida Tintal hasta la avenida Caracas.</u>	10,2
R14	Av. San José	<u>Desde la carrera Séptima hasta la Avenida Longitudinal de Occidente.</u>	10,1
R15	<u>Calle 134 - Calle 138</u>	<u>Desde la carrera Séptima hasta Autopista Norte- Autopista Norte hasta la avenida Las Villas.</u>	5,5
R17 Tc.	<u>Calle 80</u>	Desde el río Bogotá hasta la conexión con R17.	1,8
R17	Calle 80	Desde Los Héroes hasta el río Bogotá.	10,3
R18 Tc.	<u>Calle 63</u>	Desde la carrera 13 hasta la Avenida Ciudad de Quito.	1,9
R18	Calle 63	<u>Desde la avenida Ciudad de Quito hasta Engativá.</u>	12,4
R19 Tc.	Calle 26	<u>Desde la carrera Quinta, en la Universidad de los Andes, hasta la avenida Ciudad de Quito.</u>	3,8
R19	<u>Avenida El Dorado</u>	Desde la avenida Ciudad de Quito hasta la Avenida Longitudinal de Occidente.	8,7
R20	<u>Canal Arzobispo - Diagonal 53.</u>	<u>Desde la avenida 7ª - la avenida Ciudad de Quito - Canal del Arzobispo - diagonal 53 hasta Parque Simón Bolívar.</u>	5,2
R22 Tc.	<u>Avenida Jiménez</u>	Desde la carrera Quinta hasta la avenida Ciudad de Quito.	2,9
R22	<u>Calle 13 (Av. Centenario)</u>	Desde la avenida Ciudad de Quito, hasta el río Bogotá.	12,0
R23 Tc	<u>Calle 34.</u>	Desde la carrera Séptima hasta la avenida Ciudad de Quito.	1,9
R23	<u>Avenida de Las Américas.</u>	Desde la avenida Ciudad de Quito hasta Río Bogotá.	17,7
R24	<u>Av. Los Comuneros</u>	<u>Desde San Victorino - hasta la avenida de las Américas</u>	5,4

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

RUTA	CORREDOR	RECORRIDO	LONGITUD (KM)
R25	Av. del Ferrocarril	Desde la avenida Ciudad de Lima hasta la avenida Ciudad de Villavicencio	9,4
R28	Av. La Hortúa	Desde la carrera Séptima hasta la carrera 30.	3,5
R29	Calle 27 Sur	Desde la carrera Séptima hasta carrera 30.	3,0
R30	Calle 53	Desde la carrera 30 hasta el Parque Simón Bolívar.	1,3
Total			313,02

Fuente: Bogotá Capital Mundial de la Bici -Secretaria Distrital De Movilidad-Alcaldía Mayor de Bogotá

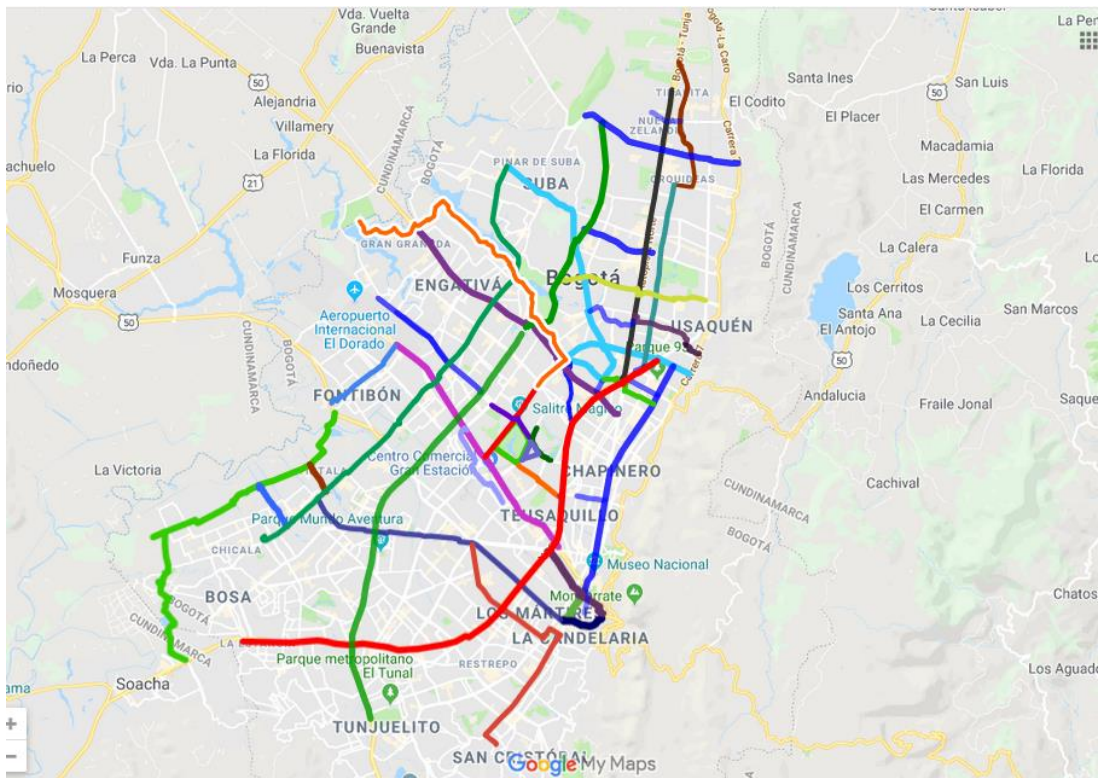


IMAGEN 1. RED DE CICLORUTAS EN BOGOTÁ. Fuente: <https://www.civico.com/bogota/bici>

RED DE CICLORUTAS EN BOGOTA

La ciclorruta del canal salitre fue construida en el año de 2008, el tramo comprendido entre la carrera 91 y la avenida 68, presenta un deterioro en la estructura del pavimento, presentando fisuraciones longitudinales, ahuellamientos y deformaciones , lo que ocasiona un eminente peligro para los ciclistas que circulan por este corredor, teniendo en cuenta lo anterior se realizara un estudio como referencia en lo estipulado en el manual de Diseño de Pavimentos adoptado por el Instituto Nacional de Invias -INVIAS y es el comportamiento de la subrasantes existente y análisis de las deformaciones utilizando las metodología de la Shell y la ayuda del Software Windepav y Elementos finitos.



IMAGEN 2. CICLORUTA DEL CANAL DEL SALITRE. Fuente: Propia

1.3.Justificación

Teniendo en cuenta la estructura de pavimentos de la ciclorruta, se recopilan algunas recomendaciones propuestas por los criterios de diseño para las ciclorrutas DAPM-2000 y la bicicleta en la ciudad -1996 (España) y de las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de INVIAS y del Instituto de Desarrollo Urbano -UDU, entre otras las siguientes observaciones:

1. La Ciclo-Ruta debe ofrecer a los ciclistas una superficie auto deslizante, suave al rodamiento y durable.
2. La carga que un ciclista transmite al pavimento es tan pequeña que el análisis mecanicista esfuerzo – difamación carece de sentido práctico.
3. El diseño de la estructura debe obedecer a criterios ingenieriles en cuanto a :
 - Ofrecer una superficie de rodadura segura, cómoda y durable.
 - Ofrecer espesores mínimos de las capas para que el proceso constructivo llevase a cabo correctamente.

*Estructura ciclorruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

Sin embargo, en este corredor de ciclorruta comprendido entre la carrera 91 y AV calle 68, adicionalmente de servir para el tránsito de ciclistas, también es utilizado en algunos periodos del año, como ruta para circulación de volquetas sencillas y doble troques, para la extracción de sedimentos y lodos, producto del mantenimiento que se realiza al canal el salitre, por ser la única ruta de acceso y salida al mismo, como proceso y operación de la PTAR el salitre.

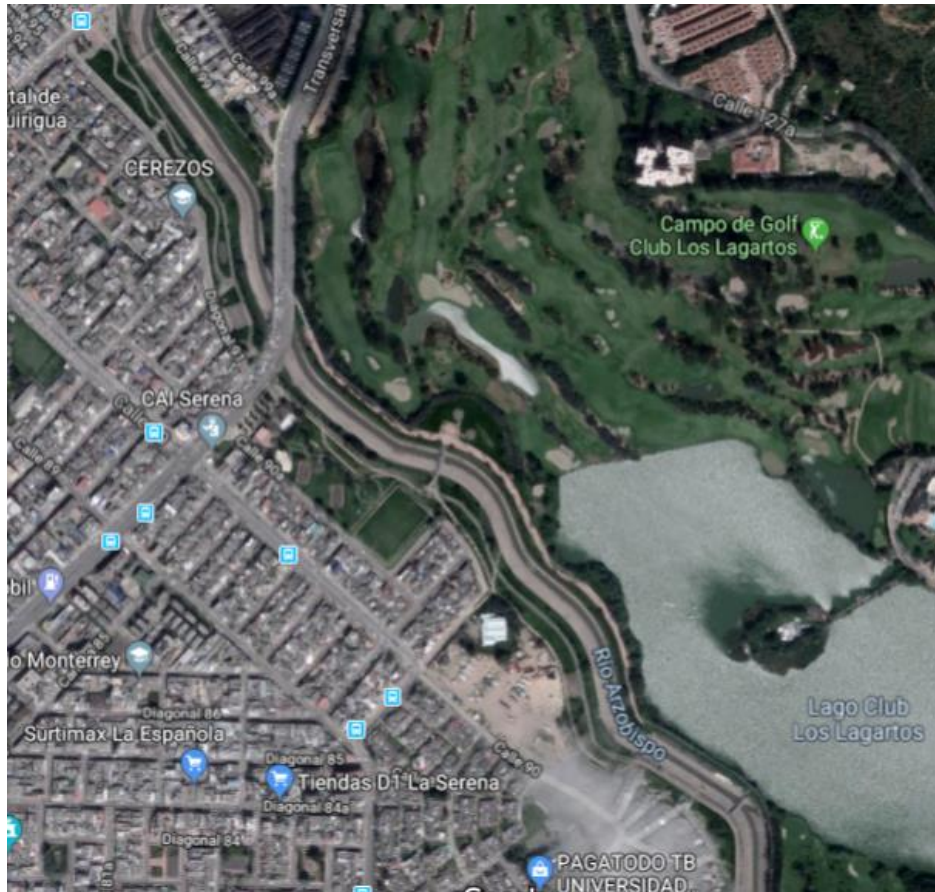


IMAGEN 3. CICLORUTA CANAL SALITRE. Fuente: Google Maps Ciclorruta canal Localización canal salitre Ciclorruta canal Localización canal salitre

Este proyecto se enmarca en la línea de investigación de diferentes tipos de comportamientos de los estructura avalada por la Universidad católica de Colombia, ya que, al realizar dicho diseño, se pueden seleccionar diversas alternativas que contribuyen a obtener una estabilidad duradera de la estructural y mejorar el comportamiento de esta a través de su vida útil. el ciclo ruta del canal el salitre presenta deficiencias estructurales como fisuras longitudinales, y deformaciones, las cuales son un factor determinante en la seguridad de los usuarios, ya que aproximadamente transitan 100 ciclistas por minuto en horas pico, lo que significa que es un importante corredor que conecta la ciudad de Bogotá con varias localidades del distrito capital, de accidente a Oriente, como alternativa de movilidad. De igual manera este corredor de ciclo ruta, sirve para en ocasiones para la salida y entrada de volquetas sencillas y dobles, al canal el salitre, cuando a este se le hace mantenimiento de limpieza y extracción de sedimentos y lodos.

2. Objetivos

2.1.Objetivo General

El objetivo del presente documento consiste en presentar el diseño de la estructura de pavimento para el mantenimiento del ciclo ruta del canal el salitre comprendida entre la cr 91 y AV. calle 68, para una longitud de 6.4 km, y realizar un comparativo con cartillas para espesores establecidos, de igual manera se tendrán en cuenta parámetros propuestos por la cartilla de andenes del Instituto de Desarrollo Urbano IDU, Instituto Nacional de Vías- INVIAS y metodología shell

2.2.Objetivos Específicos

Seleccionar la estructura más conveniente de acuerdo a los análisis realizados a cada una de las diferentes estructuras calculadas por los distintos métodos de diseño. - Realizar diferentes tipos de diseño para la estructura vial de pavimento flexible, utilizando los métodos INVIAS, cartilla de andenes del Instituto de Desarrollo Urbano IDU, SHEL y elementos finitos.

- Comportamiento de las deflexiones a tracción con respecto a espesores de estructura
- Comparación de estructura obtenida con cartilla de IDU, Departamento Nacional de Planeación.
- Análisis y comportamiento de pesos de la bicicleta con respecto a la estructura.
-

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Marco Legal

3.1.1. Mantenimiento y construcción de ciclorrutas.

Para la determinación de los espesores de ciclo ruta en todos los casos se consideró que los pavimentos y revestimientos no deberán tener cargas de tránsito para lo cual deberá tenerse en cuenta la necesidad de establecer barreras físicas para el ingreso de los vehículos, sin embargo el tránsito que circula sobre la ciclo ruta para efectos de mantenimiento del canal el salitre, obliga a diseñar adoptando la presencia de un número mínimo de cargas, de manera que no será la consideración de fatiga la determinante del proyecto, sino la necesidad de la misma.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014-2018 Todos por un Nuevo País, se propone avanzar en la implementación de sistemas de transporte encaminados a mejorar la calidad del servicio al usuario. Como complemento, busca avanzar también en el fortalecimiento de la movilidad urbana en modos más sostenibles, como el viaje a pie o en bicicleta, bajo consideraciones de eficiencia ambiental y seguridad, de forma tal que se extiendan los beneficios de la accesibilidad y el desplazamiento a una mayor parte de la población.

Así mismo establece que el Sistema Integrado de Transporte Masivo (SITM) y el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), entendidos como servicio público, se enmarcan dentro de conceptos de equidad teniendo en cuenta que: a) garantizan una cobertura amplia del territorio (accesibilidad

e inclusión a todos los grupos de la población), principalmente en ciudades intermedias; b) la infraestructura y los equipos están diseñados para atender las necesidades de personas con movilidad reducida, y c) establecen jerárquicamente prioridad para el transporte público colectivo prima el interés general y para los modos no motorizados.

De igual manera es necesario destacar que el Ministerio de Transporte adelanta el “Diseño, Elaboración y Divulgación de una guía de ciclo infraestructura para las ciudades Colombianas “la cual servirá de apoyo y línea base para la construcción e implementación de ciclo infraestructura y servicios complementarios. La unidad de movilidad urbana sostenible - UMUS del ministerio mantiene el compromiso que tiene el ministerio por fortalecer las capacidades técnicas de las regiones para la construcción de ciudades más amables.

Construcción El modelo de priorización es un instrumento que se utiliza al realizar la evaluación técnica, los criterios de priorización de vías son: Accesibilidad Integral (AI) Cercanía a áreas Prioritarias de Intervención (API), Accesibilidad con Áreas de Actividad (AAA) y Factor de Conectividad (FC) o Factor de Continuidad (CO), el cual también tienen como limitantes de aplicación las vías que están por fuera de las competencias de la Unidad de mantenimiento Vial como lo son: vías con rutas de transporte, vías arteriales, andenes, daños causados por mal estado de las redes de acueducto y alcantarillado, problemas de desecación asociados a la presencia de individuos arbóreos, entre otros, y que son atendidos por otras Entidades del Distrito. (SMVL, PDV-CP-001 Caracterización Planificación del Desarrollo Vial Local Versión 5, 2016).

La Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación Y Mantenimiento Vial UAERMV, es una entidad descentralizada del orden Distrital adscrita a la Secretaría de Movilidad, creada por Acuerdo 257 de 2006, organizada como unidad administrativa especial, de carácter técnico, que tiene por objeto programar y ejecutar las obras necesarias para garantizar rehabilitación y mantenimiento de la malla vial local, y bajo el acuerdo anteriormente descrito, se basa en realizar el mantenimiento de la cicloruta del canal salitre como la atención inmediata de todo el subsistema de malla vial cuando se presenten situaciones imprevistas que dificulten movilidad en el Distrito Capital (El Concejo de Bogotá D. C., 2006).

3.1.2. Diseños de cicloruta

Para la determinación de los espesores de ciclo ruta en todos los casos se consideró que los pavimentos y revestimientos no deberán tener cargas de tránsito para lo cual deberá tenerse en cuenta la necesidad de establecer barreras físicas para el ingreso de los vehículos, tal como se ha considerado en el diseño del espacio público, Sin embargo, para propósitos prácticos, se decidió diseñar adoptando la presencia de un número mínimo de cargas, de manera que no será la consideración de fatiga la determinante de la estructura de la cicloruta. A continuación, se presenta una guía de espesores para construcción, en función de la resistencia de la subrasante y teniendo en cuenta la metodología del Manual de Pavimentos de bajos Volúmenes de tránsito INVIAS:

*Estructura ciclorruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

De hecho, la concepción de los pavimentos de la ciclorruta es más cercana a la de andenes y áreas peatonales, las cuales corresponden a uso similar. Ello no va en desmedro de la calidad de construcción que cabe esperar, particularmente tratándose de una obra pública con importante componente social.

Tabla 2. Abaco de diseño en relación a las características del material de soporte – Ciclorruta

CBR	Mejoramiento	SBG Clase C	BG Clase C	MDC-10
< 3% o material expansivo	OBLIGATORIO	20	15	5
3-5	-	20	15	5
5-10	-	15	15	5
> 10%	-	-	15	5

Fuente: Ciclorruta-construcción ciclo infraestructura y servicios complementarios departamento nacional de planeación-Bogotá Colombia 2017

Según el Instituto de Desarrollo Urbano -IDU Para el espacio público peatonal (incluye plazoletas) y la red de ciclorruta a nivel de andén, que en ocasiones soporta carga vehicular pesada, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de diseño. Aplica para estructuras articuladas y flexibles, se debe realizar el respectivo diseño.

Tabla 3. TIPO DE SUBRASANTE CBR

TIPO DE SUBRASANTE CBR en (condición de inmersión)	
S1	Mayor o igual a 3%
S2	Menor de 3%

Fuente: Cartilla de Andenes de Bogotá -IDU, secretaria distrital de Planeación 2017

Tabla 4.

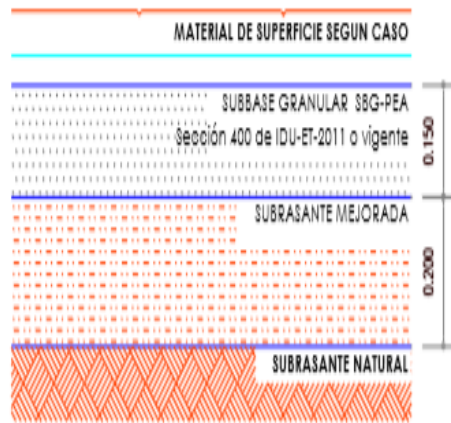
Criterio de diseño	Valor adaptado
Periodo de diseño	10 años
Carga vehicular	
Tipo de camion	C2G
Eje	Simple de 8,2 toneladas
Factor daño (INVIAS)	3,44
Transito promedio Diario – TPD	2
Numero de ejes simples equivalentes – NESE	25000
Calidad Subbase Granular	
Tipologia IDU-ET-2011 Vigente	SBG-C
CBR	30%
Modulo	1050 kg/cm2
Coeficiente estructural	0,11
Coeficiente de drenaje	0,09

**Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68**

CBR de Subrasante	3,0%
Parametros AASHTO	
Confiabilidad	50%
Esroe estandar de prediccion	0,45
Servicialidad Inicial	4
Servicialidad final	1,5

Fuente: Cartilla de Andenes de Bogotá -IDU, secretaria distrital de Planeación 2017

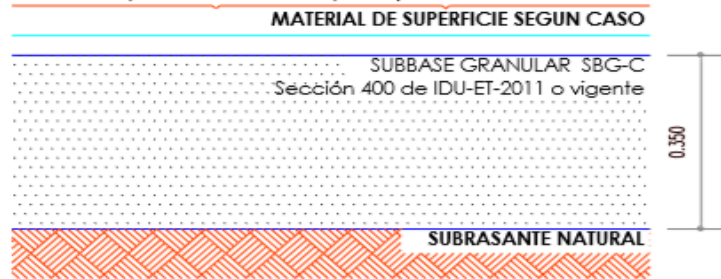
*Estructuras para Espacio Público Peatonal y Red de ciclorutas (a nivel de andén)
para Subrasante - Tipo S2 y Criterio de diseño I*



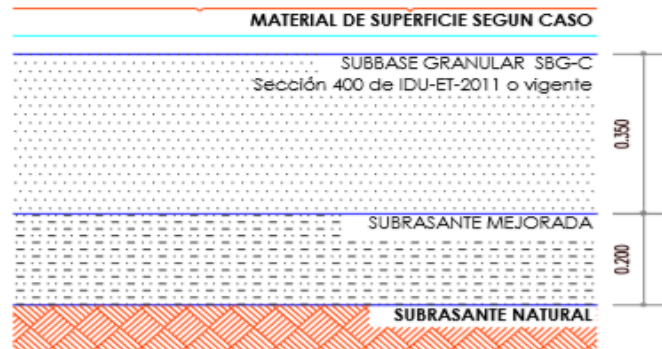
Grafica 1.

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

Estructuras para Espacio Público Peatonal y Red de ciclorutas (a nivel de andén)
para Subrasante - Tipo S1 y Criterio de diseño 2



Estructuras para Espacio Público Peatonal y Red de ciclorutas (a nivel de andén)
para Subrasante - Tipo S2 y Criterio de diseño 2



Grafica 2.

Para el espacio público peatonal (incluye plazoletas) y la red de ciclorruta a nivel de andén, que en ocasiones soporta carga vehicular pesada, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de diseño. Aplica para estructuras articuladas y flexibles.

3.1.3. Entorno Ambiental, Social.

El cambio climático es un fenómeno que se debe afrontar desde todos los sectores de la economía. El gobierno colombiano ha desarrollado la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012) donde la bicicleta y la infraestructura ciclo-inclusiva son mencionadas de manera explícita como instrumentos para mitigar los efectos del cambio climático y reducir las emisiones del sector transporte (Ministerio de Transporte de Colombia, 2013)

En términos conceptuales, la mitigación del cambio climático a través del transporte se puede realizar a través de tres tipos de acciones:

- Evitar/reducir: estas son acciones que buscan que las distancias de viaje sean cortas y que la necesidad de viajar sea menor. Se logra a través de intervenciones en desarrollo urbano sostenible y, en algunas ocasiones, a través del reemplazo de viajes por teletrabajo y sistemas tecnológicos. Aquí la bicicleta no tiene un rol predominante, pero las acciones de evitar y reducir generan condiciones favorables para andar en bicicleta.
- Cambiar: se refiere a mejorar las condiciones de los sistemas de transporte sostenible (transporte público, bicicleta y caminar o combinaciones de estos) para que haya un cambio modal hacia estos medios, y que se reduzca el uso de los medios de transporte de altas emisiones como el automóvil y la motocicleta (a través de instrumentos de gestión de la demanda). En este caso, las acciones de “cambiar” generan una mayor probabilidad de uso de la bicicleta y mejoran las condiciones específicas para circular en este modo.
- Mejorar: se refiere a mejorar las características tecnológicas de los vehículos, y generalmente se habla del mejoramiento de tecnologías de propulsión de buses, automóviles y motocicletas. No obstante, aquí la bicicleta tiene un rol fundamental pues su tecnología es de cero emisiones, y existen también bicicletas eléctricas cuyas emisiones son mucho más bajas que las de motocicletas, ya sean aprovechables, no aprovechables, peligrosos, especiales, vertimientos o emisiones atmosféricas tengan un manejo integral conforme a la normativa vigente en la materia incluyendo un componente de prevención, minimización y aprovechamiento con el fin de evitar la generación de residuos cuando sea posible; para esto la entidad realiza un acuerdo con UAESP, organización recicladora a la cual la entidad le entrega los residuos reciclables para su adecuado transporte y gestión, dando cumplimiento al decreto 400 de 2004 el al impulsa el aprovechamiento eficiente de los residuos producidos en las entidades distritales.

La conclusión es coherente con una política de desarrollo urbano compacto, denso, conectado y de usos mixtos, en la que se pretende resolver las necesidades de la población bajo el principio de la proximidad. De hecho, la forma, el tamaño, la densidad y las características de una ciudad son determinantes para que una persona en bicicleta pueda realizar sus viajes diarios en condiciones seguras y confortables.

La bicicleta tiene una alta efectividad como medio de transporte en términos de ocupación de espacio, consumo de energía y velocidad promedio, para distancias cortas y medias:

- En un espacio de 3,5 metros de ancho, lo que ocupa un carril de autopista, se pueden mover en bicicleta 14.000 personas por hora y sentido, frente a las 8.000 personas que movería el transporte colectivo y 1.500 en automóvil (Pardo & GIZ, 2011).

3.1.4. Plan de Manejo de Transito.

En el PMT además de los aspectos técnicos, se deben definir los costos iniciales y operativos de su implementación para incluir como componente del presupuesto. Los responsables de la implementación del PMT serán el contratista y la entidad responsable de la obra que interfiera el espacio público. Será la autoridad de tránsito la responsable de aprobar dicho plan en el caso de obras en vías urbanas. Requiere la entrega de planos de implantación, cantidades de elementos, personal, mantenimiento, la definición de los medios y los costos para la divulgación y en algunos casos aprobación de la entidad territorial o su organismo de tránsito. Además se debe tener en cuenta las recomendaciones de especificaciones técnicas mínimas para dispositivos luminosos, descritos en el concepto técnico 17; en el concepto 18 se encuentra la Dirección de Seguridad Vial y Comportamiento del Tránsito, adopta las especificaciones técnicas mínimas que debe cumplir la implementación de cierres parciales sobre las vías de la malla vial arterial, en cuanto a transición de carriles y señalización luminosa para el adecuado control del tráfico en las zonas afectadas por obras; estos conceptos están también regidos bajo la resolución 1885 del 2015 Por la cual se adopta el Manual de Señalización Vial - Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles, Carreteras y Ciclorrutas de Colombia, de conformidad con los artículos 5°, 113, 115 y el párrafo del artículo 101 de la Ley 769 del 6 de agosto de 2002.

3.2.MARCO TEÓRICO

3.2.1. Tipología de Ciclorutas.

Para que la circulación se produzca en condiciones de comodidad y seguridad, la ciclorruta debe tener unas dimensiones mínimas que permitan el tránsito y la maniobrabilidad. Partiendo de los requisitos geométricos de la circulación en bicicleta y de las características de las vías sobre las que se pretende establecer el trazado de los recorridos, se han tenido en cuenta, para la definición de la sección, la existencia de separadores, el ancho de la calzada, el número de carriles y el ancho de las aceras. Además de estos parámetros fundamentales para la selección de las tipologías, se han tenido en cuenta los siguientes criterios según la guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas:

- Número de carriles.
- Existencia de estacionamientos
- Pendientes e intersecciones
- Tránsito peatonal

3.2.2. Alternativas de ciclorrutas.

La infraestructura que construir corresponde a la construcción de una ciclorruta bidireccional compartida en espacio público sobre andén existente para la circulación de bicicletas en dos (2)

*Estructura ciclorruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

sentidos, de segregación dura anexas a las vías peatonales, es decir que se encuentran al mismo nivel. Esta configuración se usa en distintas ciudades del país compartiendo el espacio con la circulación de peatones. Específicamente la ciclorruta bidireccional de doble sentido de circulación escogida tiene dimensiones típicas de 2,6 m, con dos franjas (una a cada lado) construida con bordillos prefabricados de 0,20 m de ancho. Debe contar con líneas de demarcación de borde y de carril, además debe contar con señalización vertical y horizontal; de igual forma se considera la construcción de rampas en los cambios de nivel entre superficie de andén y superficie de calzada vehicular

espacio con la circulación de peatones. nivel entre superficie de andén y superficie de
Específicamente la ciclorruta bidireccional de calzada vehicular.

Ilustración 4 Dimensiones básicas de cicloinfraestructura bidireccional

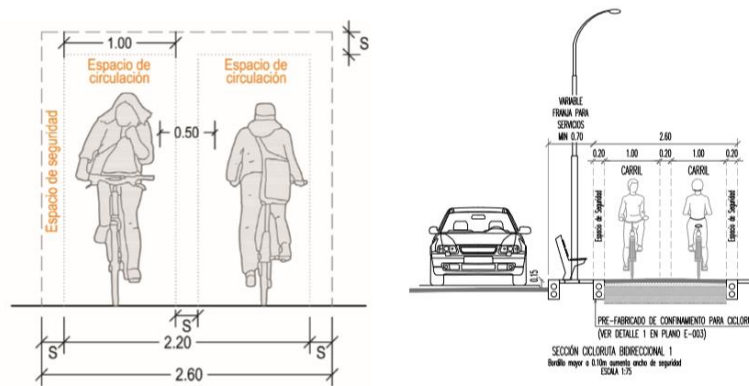


IMAGEN 4 DESCRIPCIÓN ESPACIOS REQUERIDOS EN CICLORUTA.

Fuente: Guía de Ciclo infraestructura para ciudades colombianas-2016-ministerio de Transporte

Para el caso de la ciclorruta canal salitre tiene un ancho de 3.20 mts, el transito promedio de ciclo usuarios es de 80 por minuto en ambas direcciones.

3.2.3. Velocidad de referencia.

La velocidad para la cual se diseña el ciclo-infraestructura es de gran importancia, ya que determina el radio y el peralte de las curvas y las distancias mínimas de visibilidad. Asimismo, afecta el espacio requerido al circular en bicicleta y, por lo tanto, condiciona el ancho necesario de las vías ciclistas.

En relación con la velocidad, hay que tener en cuenta que mientras en zonas planas la velocidad media de la mayoría de los usuarios suele oscilar entre 15 y 20 km/h, en tramos de pendientes continuas se puede alcanzar fácilmente velocidades de hasta 40 km/h, dependiendo también de la longitud del tramo en descenso. Por lo tanto, se suelen recomendar las velocidades de diseño descritas en la Tabla.

Tabla 5. Longitudes Por Tramo

PENDIENTE	LONGITUD DE TRAMO		
	25-75 M	75-150M	> 150 M
3-5 %	35 km/h	40 km/h	45 km/h
6-8%	40 km/h	45 Km/h	50 km/h
9%	45 km/h	50 km/h	55 km/h
<i>Fuente: Elaboración propia a partir de "Ciclociudades" Tomo V. (ITDP & I-CE, 2011 a)</i>			

Fuente: Guía de Ciclo infraestructura para ciudades colombianas-2016-ministerio de Transporte

3.3.MARCO CONCEPTUAL

3.3.1. Que es una rehabilitación

Conjunto de medidas que se aplican con el fin de recuperar la capacidad estructural del pavimento. Algunas implican el retiro de parte de la estructura existente para colocar posteriormente el refuerzo y otras buscan aprovechar las condiciones superficiales existentes del pavimento. Normalmente, van asociados a la ampliación de los períodos de vida útil en su detalle, se debe hacer Estudios y Diseños (UMV, 2018).

3.3.2. Generalidades.

La cicloruta: es una red de vías para la circulación de bicicletas entre un origen y un destino (Fuente: INVIAS - Manual de señalización vial).

Ciclovía: vía destinada al uso de bicicletas y a veces a peatones que se encuentra segregada físicamente del tránsito de vehículos motorizados. El ancho de ellas varía según los volúmenes de bicicletas esperadas. En todo caso, se recomienda un ancho mínimo de 1,2 m por sentido de circulación. Para distinguir mejor el espacio dedicado a ciclovía, su pavimento podrá contar con un color diferente, tales como rojo, azul o verde. La ciclovía puede ser permanente con infraestructura diseñada exclusivamente para tal fin, u ocasionalmente cuando se utiliza una vía vehicular o sección de la calzada para uso exclusivo de ciclistas, patinadores, peatones u otros similares (Fuente: INVIAS - Manual de señalización vial).

Ciclobanda: carril o senda sobre la calzada o andén, segregada del tránsito vehicular o peatonal solo por demarcación y/o delineadores horizontales. Su ancho puede variar según el flujo esperado de bicicletas, pero no debe ser menor a 1,5 m. Solo pueden ubicarse en vías donde la velocidad máxima permitida es igual o inferior a 60 km/h. Para distinguir mejor el espacio dedicado a

ciclobanda, su pavimento podrá contar con un color diferente, tales como rojo, azul o verde (Fuente: INVIAS - Manual de señalización vial).

Transporte no motorizado - TNM: se refiere a los medios de desplazamiento impulsados por el cuerpo humano que no generan emisiones contaminantes; es decir, caminar, andar en bicicleta (Fuente: Pardo & Calderón Peña, 2014).

Ciclocalle: vía convencional o peatonal donde circulan las bicicletas junto a otros vehículos motorizados o peatones respectivamente, cuya velocidad máxima permitida no excede los 30 km/h (Fuente: INVIAS - Manual de señalización vial).

Acera o andén: franja longitudinal de la vía, elevada o no, destinada al tránsito de peatones. Debe cumplir algunos requisitos conforme a la escala urbana: metropolitana (10 m de ancho), escala zonal (5 m de ancho) y local (1,5 m a 2 m de ancho).

3.3.3. Metodología de diseño AASTHO y SHELL

AASHTO es una asociación de estados unidos sin fines de lucro, representa los cinco modos de transporte: aire, autopistas, transporte público, ferrocarril y agua, su objetivo principal es fomentar el desarrollo, la operación y el mantenimiento de un sistema integrado de transporte nacional, es un líder internacional en el establecimiento de estándares técnicos para todas las fases del desarrollo de sistemas de carreteras los estándares se emiten para el diseño, construcción de carreteras y puentes, materiales y muchas otras áreas técnicas (AASHTO, 1993). La metodología AASHTO se basa en dos fundamentos, el tránsito que lleva a la falla del pavimento es función del número estructural (Corredor, 2008), de la resistencia de la subrasante, de la pérdida deseada de índice de servicio y de la confiabilidad elegida, el otro es que incluye la posibilidad de que se reduzca el periodo de diseño por la presencia de suelos de subrasante expansivos; además define los siguientes conceptos (Sabogal, 2008).

Serviciabilidad: Capacidad de un pavimento de servir al tránsito que hace uso de él en un instante determinado, desde el punto de vista del usuario.

Comportamiento del pavimento (performance): Tendencia de la serviciabilidad con el incremento en el número de aplicaciones de carga por eje.

Periodo de comportamiento (periodo de diseño): Lapso que transcurre desde que un pavimento es construido o rehabilitado, hasta que alcanza su serviciabilidad terminal

Este método SHELL considera la estructura del pavimento como un sistema multicapa linealmente elástico, bajo la acción de las cargas de tránsito, en el cual los materiales se encuentran caracterizados por su módulo de elasticidad de Young (E) y su relación de Poisson (μ). Los materiales de la estructura se consideran homogéneos y se asume que las capas tienen una extensión infinita en sentido horizontal (Sabaneta, 2009). El diseño consiste en elegir espesores de las capas asfálticas y granulares, y características de sus materiales (E , μ), de manera que se cumpla un determinado criterio de deformaciones. El método utiliza un programa BISAR de cómputo, el cual permite calcular los esfuerzos y deformaciones que se producen en cualquier punto de la estructura y localiza las magnitudes máximas de ellos. Los criterios básicos para el diseño estructural son las siguientes:

- Si la deformación horizontal por tracción ϵ_t en la fibra inferior de las capas asfálticas supera la admisible, se producirá el agrietamiento de ellas.
- Si la deformación vertical por compresión en la subrasante ϵ_z es excesiva, se producirá una deformación permanente de la subrasante y por consiguiente del pavimento.

3.3.4. Ensayos y laboratorios

Los ensayos con carga estática no repetida efectuados en el sitio son usados para evaluación y diseño de estructuras de pavimento. Los ensayos con carga estática no repetida efectuados en suelos, bases no cementadas y en materiales de subbase, para determinar el módulo de reacción de la subrasante o una medida de la resistencia al corte de las capas del pavimento.

Granulometría por tamizado para suelos

Este ensayo consiste en la clasificación del terreno natural para compararlo con la clasificación de materiales de suelos, de acuerdo con las normas ASTM D 422 / AASHTO T 88.

Límites de Atterberg

Estos ensayos junto con la granulometría por tamizado se requieren para la clasificación del suelo, en este caso su consistencia con respecto al contenido de humedad. A estos contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg, de acuerdo con las normas ASTM D 4318/ AASTHO T 89:

Límite líquido: el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y es posible moldearse.

Límite plástico: el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se produce el rompimiento.

Límite de retracción o contracción: estado en que el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad, según ASTM D 427/ AASHTO T 92.

Relación de humedad y densidad (Próctor Estándar y/o Próctor Modificado): Mediante esta prueba se puede determinar la compactación o densidad máxima de un suelo o agregado en relación

con su contenido de humedad. Existen dos tipos de ensayo Próctor normalizados: Ensayo Próctor Estándar, de acuerdo con las normas ASTM D 698 / AASTHO T 99, método C y el Ensayo Próctor Modificado, de acuerdo con las normas ASTM D 1557 / AASTHO T 180, método D. La diferencia entre ambos ensayos radica en la distinta energía utilizada, debido al mayor peso del pisón y mayor altura de caída en el Próctor Modificado.

CBR en laboratorio: Determina la capacidad soportante del suelo (Relación de Soporte de California, por sus siglas en Ingles), de acuerdo con las normas ASTM D 1883 / AASHTO T 193, en el cual se mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo (subrasante), sub base y/o base granular de un pavimento, bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

CBR in situ: o ensayo de Anillo de carga Realizado únicamente en la subrasante y sirve para correlacionarlo con el CBR en laboratorio, de acuerdo con la norma TB ENG 37 del Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos.

3.4.Estado del Arte

Los ciclistas en Santa Fe de Bogotá viajan sin ningún amparo oficial relegados a su propia suerte, a excepción de la operación del ciclo rutas dominicales, las cuales se iniciaron con carácter experimental en 1976 a fin de implementar en un futuro realizaciones no sólo recreativas sino de servicios y transporte individual como interés final para reglamentar su uso.

En estas condiciones, dentro de los alcances del Plan Maestro de Ciclo rutas (PMC), se estableció la elaboración de un Manual de Diseño de Ciclo rutas el cual consta de dos partes principales: Una primera (Bases para una Política de Transporte en Bicicleta), de carácter conceptual y metodológica, en la cual se sitúa el problema, y se proporcionan indicaciones para la elaboración de estudios, encuestas y programas más detallados. La segunda parte, de naturaleza normativa, está orientada a la elaboración de proyectos de ciclo rutas en todos sus aspectos tales como geometría, pavimentación, drenaje, señalización, iluminación y paisajismo.

En Santiago es la capital de Chile y la más poblada con 6.265.000 habitantes (Demographia, 2016). La ciudad tiene una división administrativa por comunas y cada comuna tiene cierta autonomía administrativa. Su sistema de transporte público es muy organizado y cuenta con 5 líneas de metro (Metro de Santiago), sistema integrado de autobuses (Transantiago) y es la única ciudad chilena que cuenta con SBP .Es el Sistema Bicicletas Públicas intercomunal de Santiago, desarrollado y operado por Bcycle Latam, división especializada de Trek Internacional, e implementado con auspicio de banco Itaú. Bikesantiago es un emprendimiento social con el objetivo de poner a disposición de los ciudadanos una solución eficiente, segura y sustentable para sus necesidades de transporte.

El SBP que interconectará 15 comunas de la capital chilena, comenzó operaciones el 29 de octubre de 2013. La iniciativa partió en Vitacura, con sólo 30 estaciones y 300 bicicletas. En 2014 se amplió hacia las comunas de Lo Barnechea, Ñuñoa y Providencia, mientras que a principios de este año

se sumó Santiago, Recoleta e Independencia. Para octubre de 2015, el sistema ya contaba con 1.881 bicicletas y 132 estaciones. Los resultados de los 2 primeros años de operación se expresan con los siguientes datos: se realizaron 1.244.429 viajes y se contaba con 25.991 usuarios inscritos en el sistema. Para comienzo de éste año, ya se integran 14 comunas con 2.050 bicicletas en funcionamiento y 205 estaciones. (Herrera, 2015).

El Gobierno de Buenos Aires, por medio del plan de movilidad sustentable (desarrollado bajo una visión holística), arrancó el programa de SPB en 2010 con 3 ciclo estaciones, 72 bicicletas y 100 viajes por día. Para 2013, el sistema ya contaba con 29 ciclo estaciones, 1.000 bicicletas y alrededor de 72.000 usuarios registrados que realizan 5.000 viajes al día. Para el cierre del 2015 el sistema amplió su número de ciclo estaciones a 43. La operación de estas bicicletas hasta Marzo de 2015 estaba basada en tecnología 2G y su horario era de 08:00 hasta las 20:00 de lunes a viernes y los sábados de 09:00 a 15:00 (Gartner, 2013).

El SBP de Quito se inauguró el 31 de Julio de 2012. El sistema inició con 425 bicicletas en 25 ciclo estaciones. En la administración del alcalde Mauricio Rodas, en dos años, se han incorporado 595 unidades entre 2014 y 2015. Actualmente cuenta con 1020 bicicletas que sirven a 35.000 usuarios. La Alcaldía de está realizando la contratación del Sistema Automatizado y para este año está previsto incluir al sistema 1000 bicicletas más, 700 bicicletas a pedal y 300 eléctricas que permitirán fortalecer el Sistema de Bicicleta Pública de Quito (Agencia Pública de Noticias de Quito, Enero de 2016)

Sistemas de Bicicletas Público en Brasil es la experiencia de las bicicletas públicas en América Latina tiene su inicio con la implementación del primer SBP en Rio de Janeiro. Brasil ha sido el pionero de en sistema de bicicletas compartidas y hoy ya son 11 ciudades las que cuentan con su SBP. El desarrollo e implementación de cada SBP en Brasil son asociaciones entre las Prefeituras (Alcaldías o Ayuntamientos) y empresas especializadas en movilidad. De igual manera, cada sistema está auspiciado por una empresa privada (exceptuando los sistemas de la ciudad de Petrolina y Santos).

Todos los SBP cuentan con estaciones cicloestaciones 3G con sistema wireless y operan con energía solar. Aunque la terminal no tiene funciones operacionales, en ella se encuentra el número de la cicloestacion que se debe indicar por medio del teléfono móvil, la información de uso y el mapa de las estaciones de la ciudad. El anclaje de las bicicletas es por medio de barra horizontal. En cuanto a las bicicletas, en todas las ciudades tienen el mismo diseño e iguales características por ser desarrolladas por la misma empresa. En la ciudad de Santos tiene el mismo diseño, aunque presenta algunas variaciones estéticas mínimas.

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

En América Latina, son 24 ciudades las que cuentan con SBP y que bajo distintos modelos de estructuración y operación han sido una alternativa de movilidad sostenible para sus ciudadanos. Brasil es el país donde se ubican más SBP, seguido de México y Argentina, y esto es porque sus ciudades albergan gran cantidad de personas. Algunos de estos sistemas son gratuitos y otros se integran con la red de transporte de la ciudad, lo que hace que cada SBP tenga particularidades que se adaptan a las necesidades de sus habitantes.

El éxito de los sistemas de bicicletas público se refleja en la correcta implementación basada sobre estudios y exploraciones que fundamenten unas bases sobre las necesidades reales en materia de transporte, calidad del aire y de salud pública, uso del espacio y aspectos socioeconómicos.

4. DESCRIPCIÓN DE LUGAR Y TIEMPO

El tramo comprendido de la cicloruta canal salitre, se encuentra entre la kr 91 y la Av carrera 68, en un trayecto de 6 kilómetros, el sector se encuentra en el noroccidente de la ciudad de Bogotá, colindando con el club los lagartos, el barrio minuto de Dios y el rio Juan Amarillo, esta cicloruta comunica al occidentes con el oriente de la ciudad, donde hay 14000 viajes diarios de ciclo usuarios.

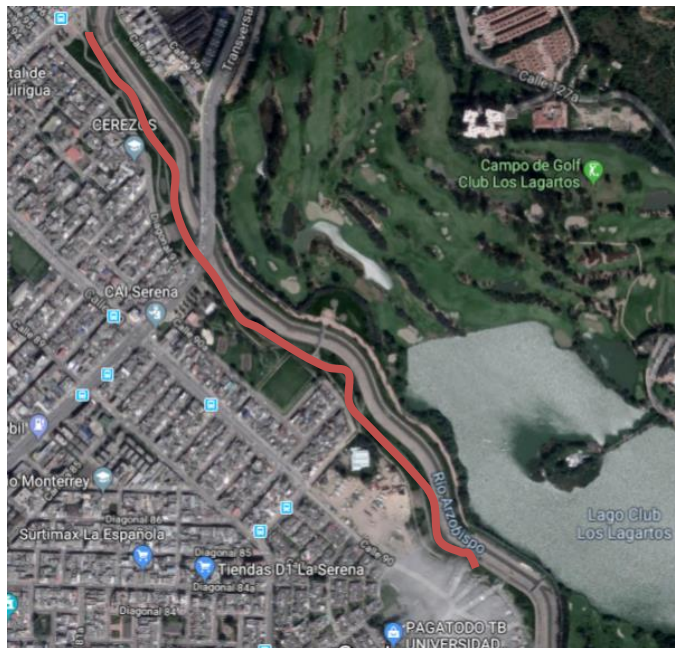


IMAGEN 5. CICLORUTA CANAL SALITE. Fuente: Google Maps

La ciclorruta del canal salitre fue construida en el año de 2008, el tramo comprendido entre la carrera 91 y la avenida 68, presenta un deterioro en la estructura del pavimento, presentando fisuraciones longitudinales, ahuellamientos y deformaciones , lo que ocasiona un eminente peligro para los ciclistas que circulan por este corredor.



IMAGEN 6. CICLORUTA CANAL EL SALITRE. Fuente: Propia

5. METODOLOGÍA

5.1.Estructuración Técnica.

Teniendo en cuenta la necesidad de intervención se realizó la toma de datos de acuerdo método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad I.N.V.E-172-07,

Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio). La masa unitaria del suelo también puede ser estimada (Nota 1) si se conocen el tipo de suelo y su contenido de agua. El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos.

Esta ecuación es usada para todos los suelos, menos para los que clasifiquen como CL y tengan un CBR inferior a 10 y los suelos CH, para los cuales el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos recomienda las siguientes expresiones:

Suelos tipo CL con CBR < 10:

$$CBR = \frac{1}{(0.017019 \times PDC)^2}$$

Suelos CH:

$$CBR = \frac{1}{0.002871 \times PDC}$$

A continuación, se relaciona el procedimiento que se empleó para la *estructura cicloruta método convencional y elementos finitos*. Este tuvo las siguientes fases:

**Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68**

- Proceso experimental: se realizaron diferente toma de muestras en campo con el fin de identificar el perfil estratigráfico del suelo a tratar.
- Toma de datos: para la toma de datos es necesario con los diferentes programas entre ellos (windepav y everstressfe) procesar la información que se observa en gráficos, tablas, diagramas de espectro.
- Análisis de datos: luego de hacer reiteradamente los procesos se observan los resultados, vistos en gráficos diagramas entre otros y se procede a realizar el análisis y posterior verificación. . (Respuesta por parte del Grupo de Estudiantes y Docente Tutor).

5.2. Tabla 6. Datos obtenidos

Después de realizar el ensayo de PDC se obtuvo la siguiente información:

PK	CIV	LONGITUD	ABSCISA	N GOLPES	ACUMULADA	ENTRE LECTUR AS	D POR GOLP E	INDICE DE PDC MM/GOLP E	CBR %	CBR ENSAYO	ESPESOR ENCONTRADO DE ASFALTO M	ESPESOR ENCONTRADO GRNULAR M	ESPESOR DE SUBRASANTE M
34011607	10011245	129.76	K00+130	30	20280	1000	33	33	33	3.1	0.060	0.8	0.6
34011606	10011246	155.28	K00+285										
34011608	10011247	171.41	K00+456										
34011272	10002982	224.96	K00+681										
34011556	10011250	144.37	K00+826										
34011555	10011253	240.6525	K01+066	62	38100	1000	16	16	16	13.0	0.060	0.5	0.8
		0	K01+066	13	7420	1000	77	77	77	0.6	0.080	0.4	0.9
34011565	10011254	143.06	K01+209										
34011566	10011255	1216.74	K02+426										
34011564	10011256	45.22	K02+471										
34011560	10011257	57.12	K02+529	37	20770	1000	27	27	27	4.7	0.070	0.8	0.5
34011563	10011258	89.05	K02+618										
34011562	10011259	126.26	K02+744	44	27446	1000	23	23	23	6.7	0.060	0.5	0.9
34011561	10011260	187.13	K02+931										N/A
34011559	10011261	175.47	K03+106										N/A
34011276	11012790	146.24	K03+253										N/A
34011276	11012790	146.24	K03+399	53	23210	1000	19	19	19	10.9	0.070	0.8	0.5
			K03+399										
34011269	50009127	125.83	K03+525	52	27760	1000	19	19	19	10.6	0.060	0.7	0.7
34011274	50008988	474.12	K03+999	44	27600	1000	23	23	23	6.7	0.060	0.4	0.9
34011273	50003334	211.21	K04+210										
34011558	10011337	145.7	K04+356	34	8000	480	14	14	14	17.3	0.060	0.7	0.6
34011557	10011340	97.55	K04+453	95	32910	1000	11	11	11	20.9	0.060	0.5	0.8
34011192	10010141	96.84	K04+550	70	20960	1000	14	14	14	14.9	0.090	1.3	N/A

**Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68**

PK	CIV	LONGITUD	ABSCISA	N GOLPES	ACUMULADA	ENTRE LECTUR AS	D POR GOLP E	INDICE DE PDC MM/GOLP E	CBR %	CBR ENSAYO	ESPESOR ENCONTRADO DE ASFALTO M	ESPESOR ENCONTRADO GRNULAR M	ESPESOR DE SUBRASANTE M
34010532	10010003	166.52	K04+717	62	25680	100	16	16	16	13.0	0.090	1.3	N/A
34010533	10010003	56.46	K04+773										
34011549	10010009	85.2	K04+858	29	17780	1000	34	34	34	2.9	0.090	0.6	0.6
34010531	12002872	128.42	K04+987										
34011523	10010436	11.46	K04+998	71	35100	1000	14	14	14	15.1	0.060	0.7	0.6
34010151	50008579	144.88	K05+143										
34010150	11011665	96.93	K05+240										
34010116	11011654	104.6	K05+345	25	10670	1000	40	40	40	2.2	0.050	0.5	0.8
900661	30001065	147.305	K05+492	28	16920	1000	36	36	36	2.7	0.080	0.4	0.9
900661	30001065	147.305	K05+639	59	29130	1000	17	17	17	12.3	0.070	0.5	0.8
34010169	11012791	152.12	K05+791	29	12640	1000	34	34	34	2.9	0.080	0.5	0.7
34010169	11012791	152.12	K05+944	51	18610	1000	20	20	20	10.4	0.060	0.4	0.9
34010152	11012791	240.55	K06+184	34	13210	1000	29	29	29	4.0	0.070	0.5	0.9
34010152	11012791	240.55	K06+425	39	18380	1000	26	26	26	5.3	0.070	0.4	0.9

Fuente: Propia

Para determinar los CBR característicos dentro del tramo de 6 kilómetros, se realiza la metodología de secciones homogéneas, el ensayo con el PDC se realizó hasta una profundidad mínima de ochenta centímetros (0.80 m) y ejecutarse siguiendo la Norma INV E-172.

TABLA 7.

ESTACION	CBR	Numero de Intervalo	Distancia del intervalo	Distancia acumulada	CBR PROMEDIO	Área del intervalo real	Área Acumulada	Sax
----------	-----	------------------------	----------------------------	------------------------	-----------------	----------------------------	-------------------	-----

k0+000	3.00	1	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00
k0+130	3.10	2	0.13	0.13	3.05	0.40	0.40	-0.52
k0+611	13.00	3	0.48	0.61	8.05	3.87	4.27	-0.08
k1+092	0.60	4	0.48	1.09	6.8	3.27	7.54	-0.23
k2+555	4.70	5	1.46	2.55	2.65	3.87	11.41	-6.77
k2+770	6.70	8	0.22	2.77	5.7	1.23	12.64	-7.07
k3+425	10.90	9	0.66	3.42	8.8	5.76	18.40	-5.98
k3+551	10.60	10	0.13	3.55	10.75	1.35	19.75	-5.52
k4+025	6.70	11	0.47	4.02	8.65	4.10	23.85	-4.80
k4+382	17.30	12	0.36	4.38	12	4.28	28.13	-3.06
k4+479	20.90	13	0.10	4.48	19.1	1.86	29.99	-1.89
k4+576	14.90	14	0.10	4.58	17.9	1.73	31.72	-0.85
k4+743	13.00	15	0.17	4.74	13.95	2.32	34.04	0.29
k4+884	2.90	16	0.14	4.88	7.95	1.13	35.17	0.41
k5+024	15.10	17	0.14	5.02	9	1.26	36.43	0.67
k5+371	2.20	18	0.35	5.37	8.65	3.00	39.43	1.21

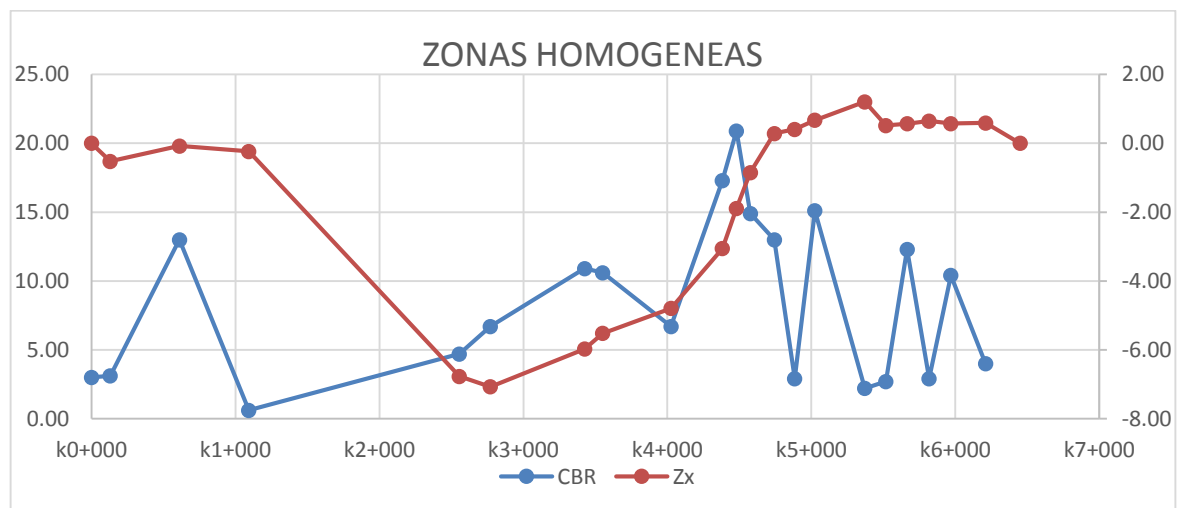
**Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68**

k5+518	2.70	19	0.15	5.52	2.45	0.36	39.79	0.52
k5+665	12.3	20	0.15	5.67	7.5	1.10	40.89	0.57
k5+817	2.9	21	0.15	5.82	7.6	1.16	42.05	0.65
k5+969	10.4	22	0.15	5.97	6.65	1.01	43.06	0.57
k6+210	4	23	0.24	6.21	7.2	1.73	44.79	0.59
k6+451	5.3	23	0.24	6.45	4.65	1.12	45.91	0.00
							At=	45.91
							Lp=	6.45
							F=	7.12

Fuente: Propia

Se realiza la gráfica para determinación de las secciones Homogéneas y grupo característico.

Grafica 3.



Fuente: Propia

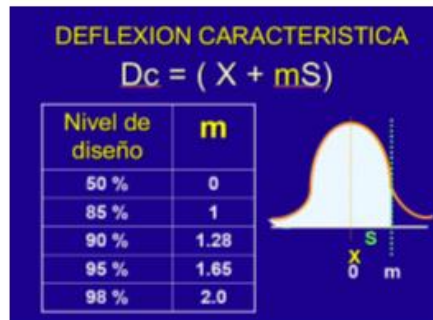
De acuerdo a la gráfica se pudo determinar 4 grupos de CBR característicos, utilizando un nivel de diseño de 50%.

Tabla 8.

			x	s	m 50% confi	CBR carácter	Profundidad promedio M	Espesor promedio CA
TRAMO 1	k0+000	k1+092	4.9	5.5	0	4.93	0.57	0.067
TRAMO 2	k1+092	k2+770	5.7	1.41	0	5.70	0.65	0.065
TRAMO 3	k2+770	k5+371	11.5	6.09	0	11.45	0.74	0.069
TRAMO 4	k5+371	k6+451	6.3	4.09	0	6.27	0.45	0.072

Fuente: Propia

Grafica 4.



Fuente: Manual INVIAS

Utilizando la metodología Shell, se determina por correlaciones el Mr de la subrasante y de los granulares, con cada uno de los CBR determinados en los 4 tramos.

Tabla 9. Tramo 1

TRAMO 1					
METODOLOGIA SHELL					
Mr	MR = 100 X CBR %		CBR%	4.93	
Mr	493	KG / CM 2	SUBRASANTE	48 Mpa	
PARA SUBBASE		0.57	M	573.33	MM
MODULO RESILIENTE DE CAPAS GRANULARES SHELL					
En	MR = 0.206 X H gr^0.45 X Mr sub				
Mr	173	Mpa	1768	KGF/CM2	

Fuente: Propia

Tabla 10. Tramo 2

TRAMO 2				
METODOLOGIA SHELL				
Mr	MR = 100 X CBR %		CBR%	5.70
Mr	570	KG / CM 2	SUBRASANTE	56 Mpa
PARA SUBBASE				
	0.65	M	645.00	MM

MODULO RESILIENTE DE CAPAS GRANULARES SHELL				
En	MR = 0.206 X H gr^0.45 X Mr sub			
Mr	212	Mpa	2158	KGF/CM2

Fuente: Propia

Tabla 11 Tramo 3

TRAMO 3				
METODOLOGIA SHELL				
Mr	MR = 100 X CBR %		CBR%	11.45
Mr	1145	KG / CM 2	SUBRASANTE	112 Mpa
PARA SUBBASE	0.74	M	738.00	MM
MODULO RESILIENTE DE CAPAS GRANULARES SHELL				
En	MR = 0.206 X H gr^0.45 X Mrsub			
Mr	452	Mpa	4606	KGF/CM2

Fuente: Propia

Tabla 12 Tramo 4

TRAMO 4					
METODOLOGIA SHELL					
Mr	MR = 100 X CBR %	CBR%	6.27		
Mr	627	KG / CM 2	SUBRASANTE	61 Mpa	
PARA SUBBASE		0.45	M	445.00	MM
MODULO RESILIENTE DE CAPAS GRANULARES SHELL					
En	MR = 0.206 X H gr^0.45 X Mr sub				
Mr	196.873152	Mpa	2008	KGF/CM2	

Fuente: Propia

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

Para la determinación de tránsito, se de acuerdo a la cartilla de andenes del IDU, se asumen un TPD de 2 camiones 2G2, se realiza proyección de tránsito, ya que no se tiene conteos históricos.

Tabla 13. Calculo 1.

C2G	
CALCULO	1
FACTOR DAÑO INVIAS	3.44
TPD	2
FACTOR CARRIL	1
AÑOS DISEÑO	10.00
TRANSITO	2.12
NESE	2662
TAZA CRECIMIENTO	3%

NESE	29,822	EXPONENCIAL
NESE	29,613	LINEAL

Fuente: Propia

Tabla 14. Calculo 2

$$ne = 2,4 \times 10^{-8} \times L^4$$

			TON	KN	ne
SENCILLO	L	PESO DIRECCIONAL	6	58	0.27
SENCILLO	L	EJE SENCILLO	11	107	3.15
C2G			DIRECCIONAL	SENCILLO	TOTAL
CALCULO	2		ne	ne	
FACTOR DIRECCIONAL	1				
TPD	2				
FACTOR CARRIL	1				
AÑOS DISEÑO	10				
TRANSITO	2.05				
NESE	748		0.27	3.15	28,670
TAZA CRECIMIENTO	3%				

$$\text{FACTOR DE PROYECCON} = \frac{((1+R)^n - 1)}{r}$$

11.20

Fuente: Propia

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

Para cálculo de deflexiones, se utiliza el software Windepav con los siguientes datos, tomando la formula Shell para deformación admisible en el asfalto y la subrasante

Tabla 15. Ley de Comportamiento

AUTOR	LEY DE COMPORTAMIENTO
Compañía Shell	$\epsilon_{r adm} = (0.856 V_b + 1.08) E_1^{-0.36} \left(\frac{N}{K} \right)^{-0.29}$

Fuente: Higuera Ing. PAVIMENTOS

Vb =11 Transito = 29,822
K=2 E CA=4200 Mpa

Tabla 16. Método Shell y Windepav Tramo 1.

TRAMO 1

MATERIAL	UND kgf/cm2	h cm inic	h cm fin	€ T ADMISIBLE	€V SUBRASANTE ADMISIBLE	
E CA	42828	6	5	527.17	1369.7	Shell higuera
Mr granulares	1768	57	30	€ T	€V	
Mr subrasante	492.5			375	1040	windepav

CBR	4.9
TRANSITO	29822

Fuente: Propia

Tabla 17. Método Shell y Windepav Tramo 2.

TRAMO2

MATERIAL	UND kgf/cm2	h cm inic	h cm fin	€ T ADMISIBLE	€V SUBRASANTE	
E CA	42828	6.5	5	527.17	1369.7	Shell higuera
Mr granulares	2158	64.5	19	€ T	€V	
Mr subrasante	570			353	1320	windepav

CBR	5.70
-----	------

Fuente: Propia

Tabla 18. Método Shell y Windepav Tramo 3.

TRAMO3

MATERIAL	UND kgf/cm2	h cm inic	h cm fin	€ T ADMISIBLE	€V SUBRASANTE	
E CA	42828	6.9	5	527.1725835	1369.740917	Shell higuera
Mr granulares	4606	73.8	15	€ T	€V	
Mr subrasante	1145			201	844	windepav

CBR	11.45
-----	-------

Fuente: Propia

Tabla 19. Método Shell y Windepav Tramo 4.

TRAMO 4

MATERIAL	UND kgf/cm2	h cm inic	h cm fin	€ T ADMISIBLE	€V SUBRASANTE	
E CA	42828.24	7.17	5	527.1725835	1369.740917	Shell higuera
Mr granulares	2008	44.5	18	€ T	€V	
Mr subrasante	627			363	1320	windepav

CBR	6.27
-----	------

Según los resultados al comparar con los diseños propuesto por las diferentes metodologías tenemos:

Tabla 20. Comparación de espesores Tramo 1

TRAMO 1

CBR	MATERIA	PLANEACION NACIONAL	IDU	INVESTIGACION
3 5	CA	5	5	5
	BASE G	15	35	30
	SUB G	20		

Tabla 21. Comparación de espesores Tramo 2 y 4

TRAMO 2 Y

4

CBR	MATERIA	PLANEACION NACIONAL	IDU	INVESTIGACION
5 10	CA	5	5	5
	BASE G	15	35	19
	SUB G	15		

Tabla 22. Comparación de espesores Tramo 3

TRAMO 3

CBR	MATERIA	PLANEACION NACIONAL	IDU	INVESTIGACION
10>	CA	5	5	5
	BASE G	15	15	15
	SUB G			

Tabla 23. Pesaje y toma de presión

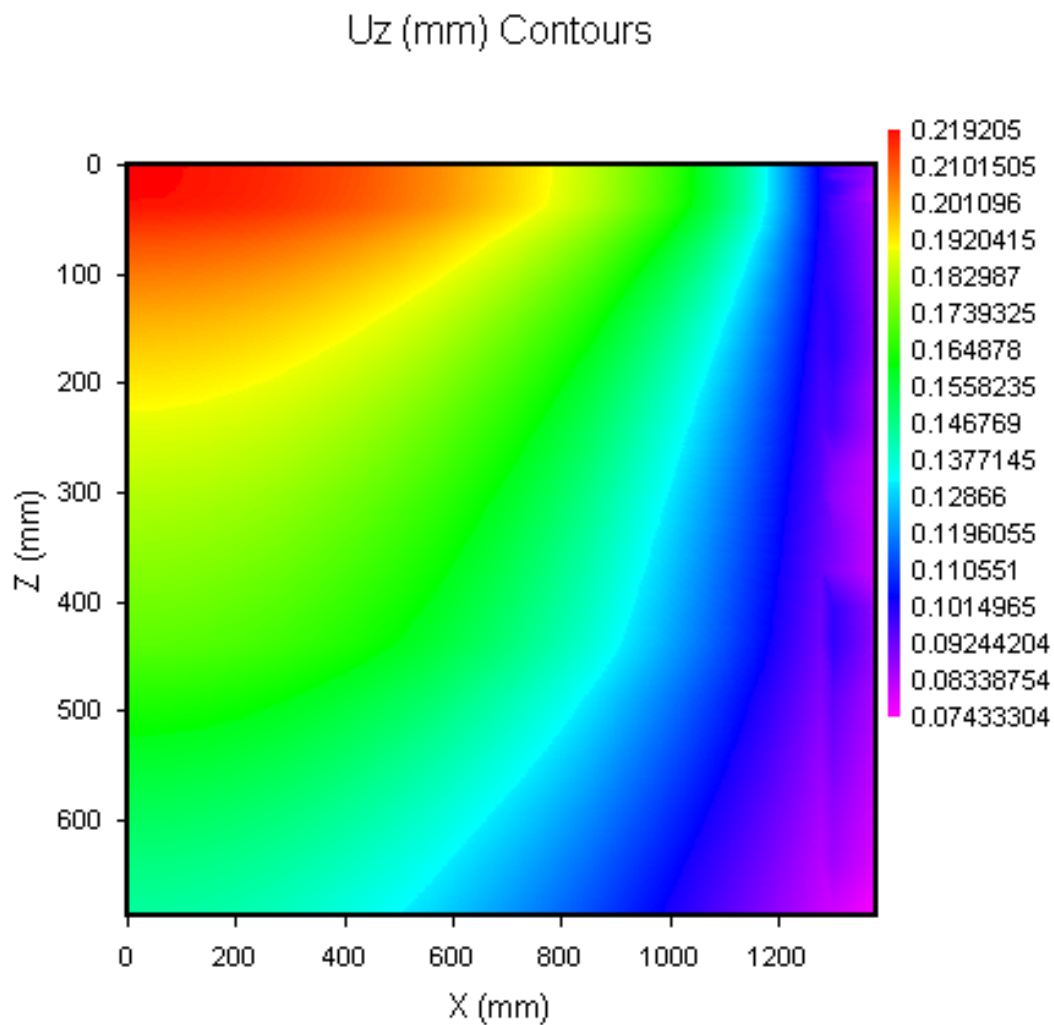
PESO DE BICICLETAS (KG)	TIPO	MARCA	PRESIÓN (PSI)
11,25	aluminio	canyon	28
12,87	aluminio	giantral	30
13,61	carbono	phase	26
12,93	carbono	ktm	28
12,47	carbon	vitoria	26
11,91	aluminio	canyon	29

*Estructura cicloruta método convencional y elementos finitos, canal
salitre entre calle 91 y av. carrera 68*

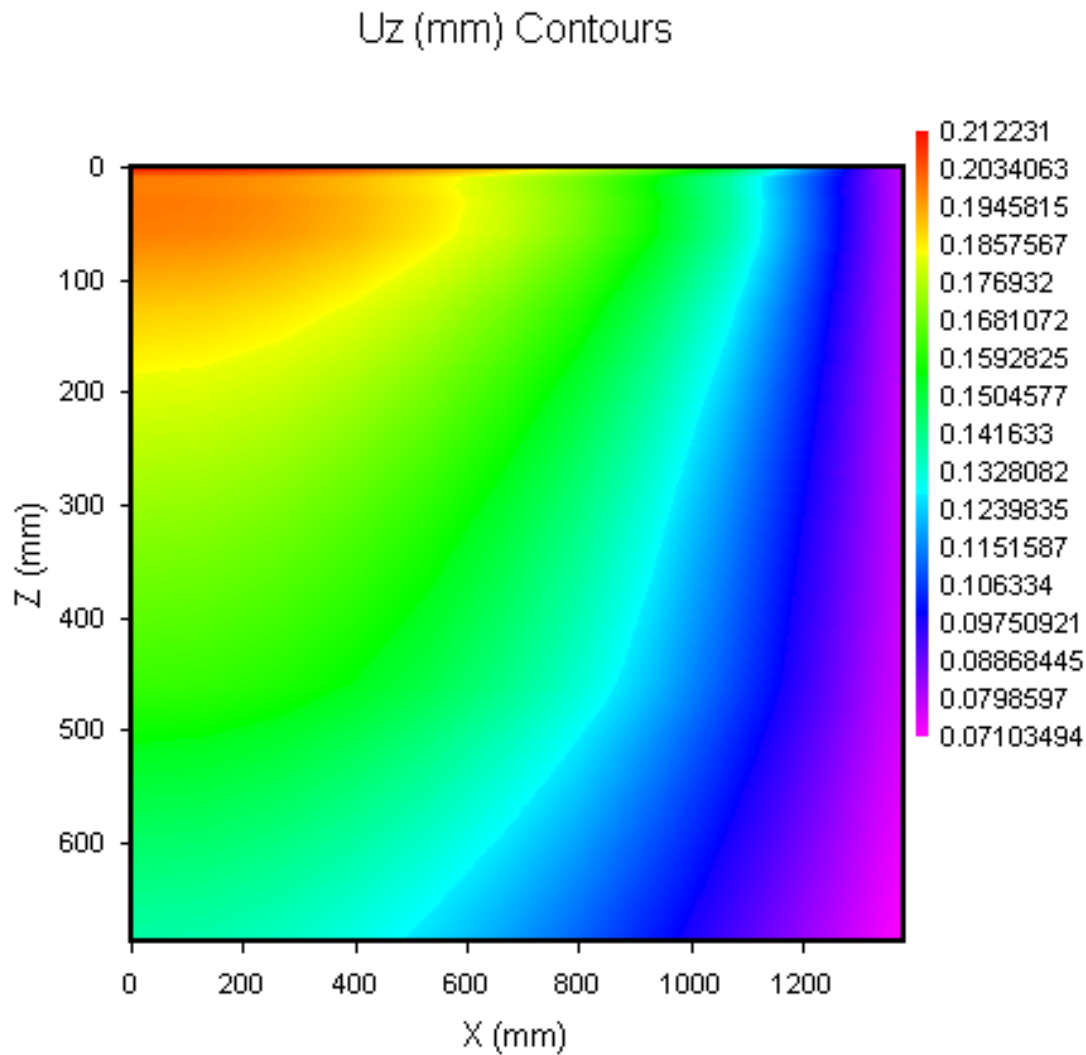
12,64	aluminio	votoria	27
11,94	carbon	olimpia	23
16,56	aluminio	trek	28
10,94	carbono	cannondale	28
12,95	carbon	scoot	27
14,72	aluminio	scoot	29
11,63	carbon	cannondale	26
16,92	aluminio	normal	29
12,14	aluminio	cannondale	28
11,07	aluminio	moon	25
12,9	carbono	moon	29
12,8	carbono	scott	30
15,15	carbon	connor	27
15,85	aluminio	mooon	27
13,84	aluminio	cube	29
14,55	aluminio	scott	28
13,62	carbono	cobe	30
10,83	carbono	cannondale	30
10,03	aluminio	merior	26
13,26	aluminio	b-pro	29
14,72	aluminio	scott	27
11,54	carbon	cannodale	23
14,67	aluminio	scott	27
9,33	carbono	scr	29
11,84	carbon	ktm	28
11,35	aluminio	trek	30
13,53	carbon	trek	29
9,89	aluminio	merior	28
11,5	carbono	cube	25
14,8	carbon	modrker	26
15,63	carbon	scott	29
14,2	carbono	trek	27
15,88	aluminio	b-pro	23
11,8	carbon		28
10,89	aluminio	scott	30
11,82	carbono	corrateg	29

5.2.1. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

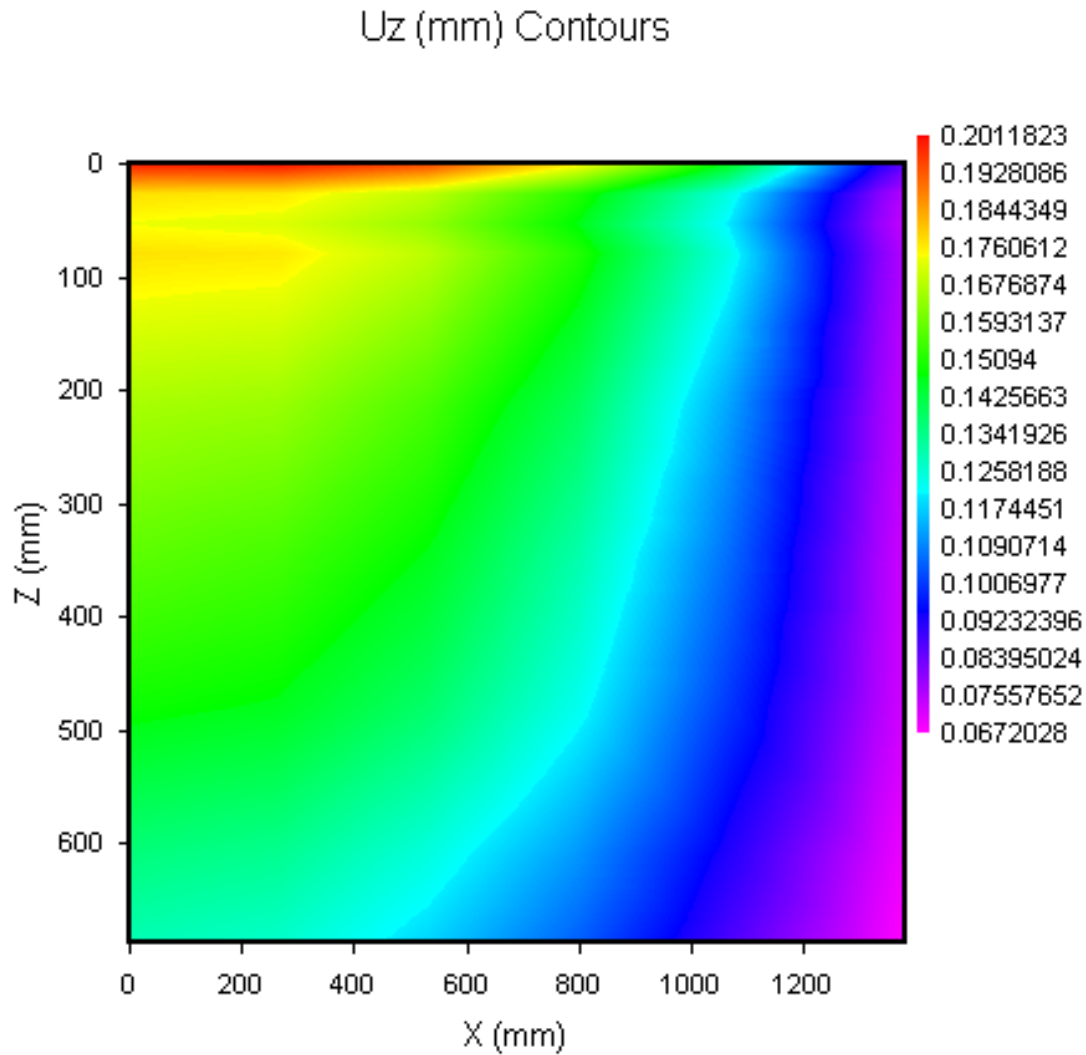
En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 4 cm de carpeta asfáltica, 40 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 80 Kg y una presión de llanta de 26 PSI.



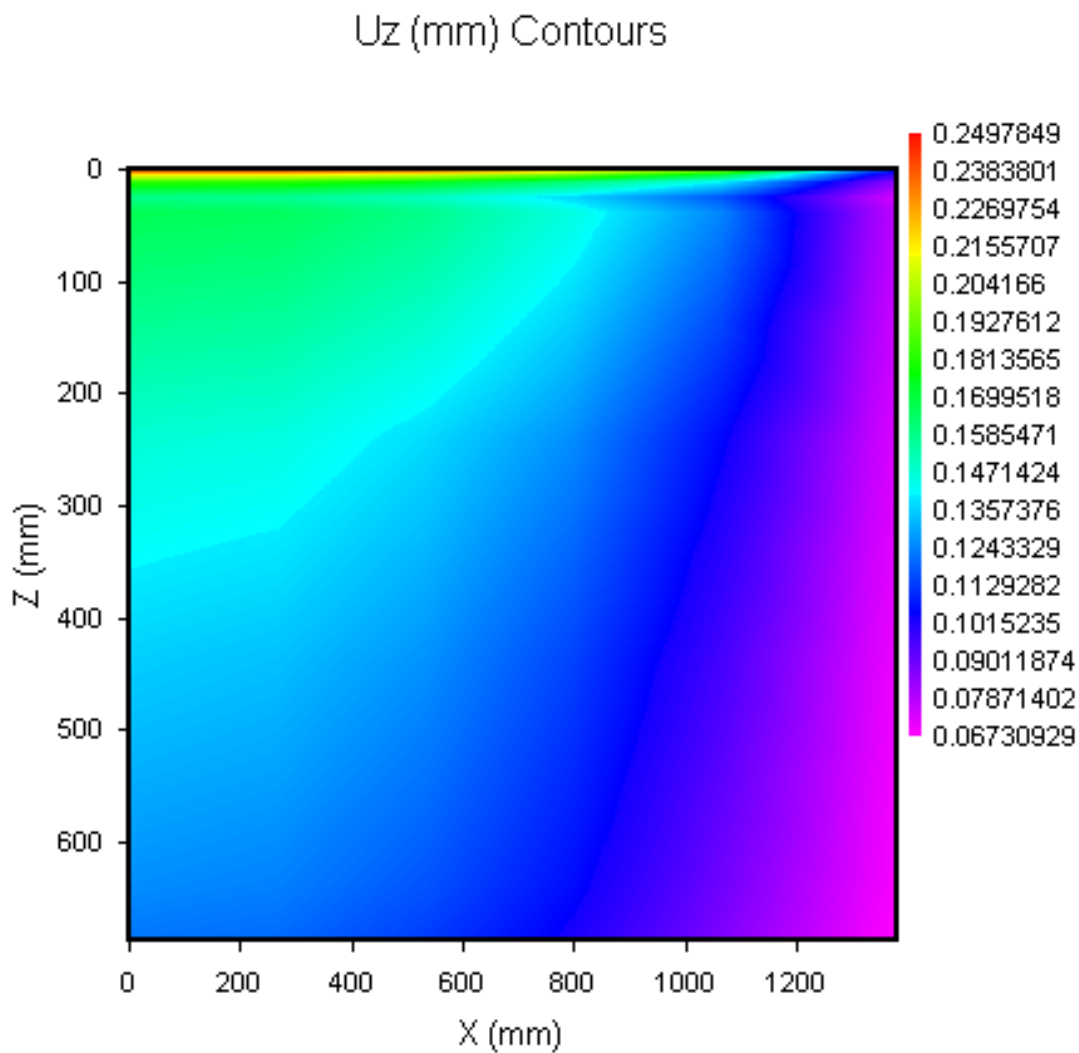
En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 6 cm de carpeta asfáltica, 40 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 80 Kg y una presión de llanta de 26 PSI.



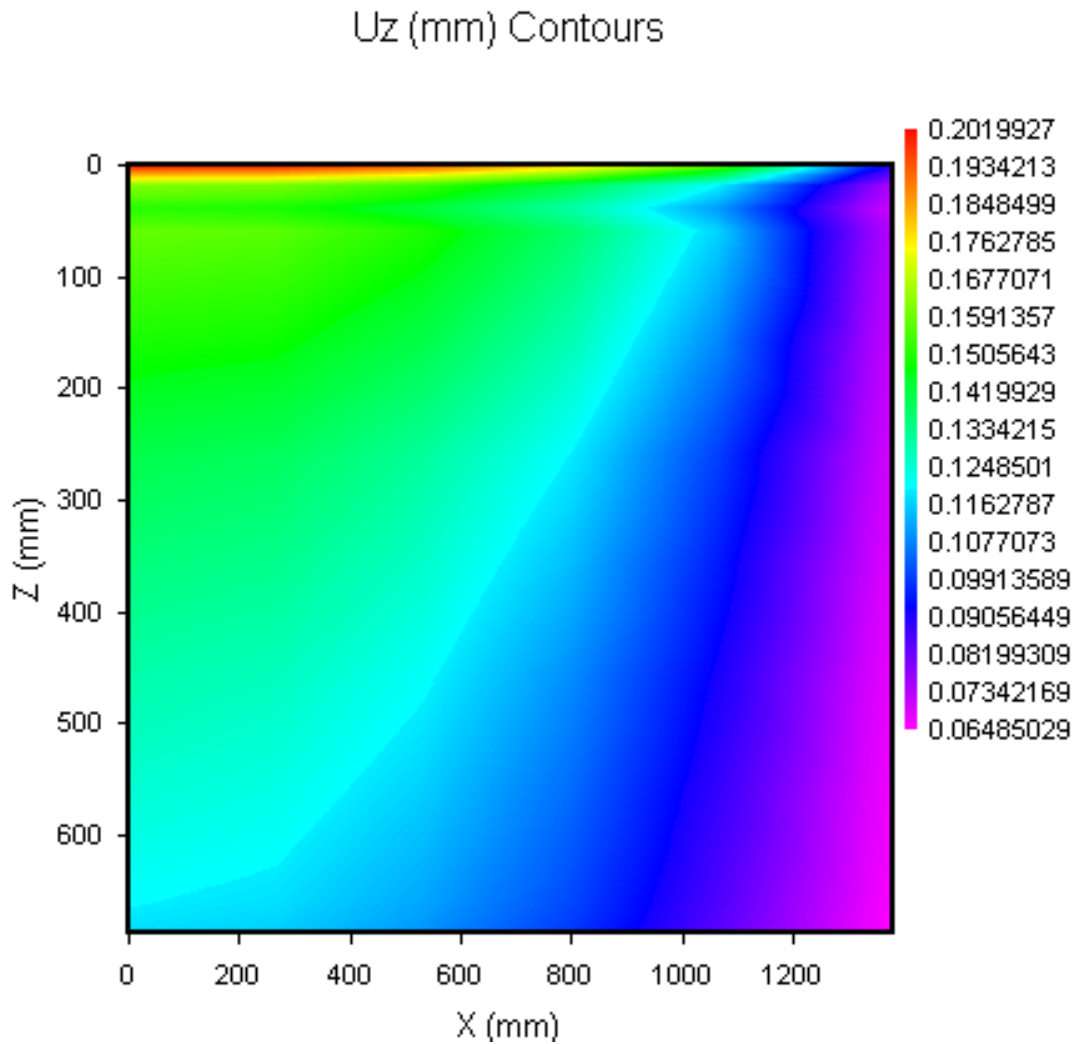
En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 8 cm de carpeta asfáltica, 40 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 80 Kg y una presión de llanta de 26 PSI.



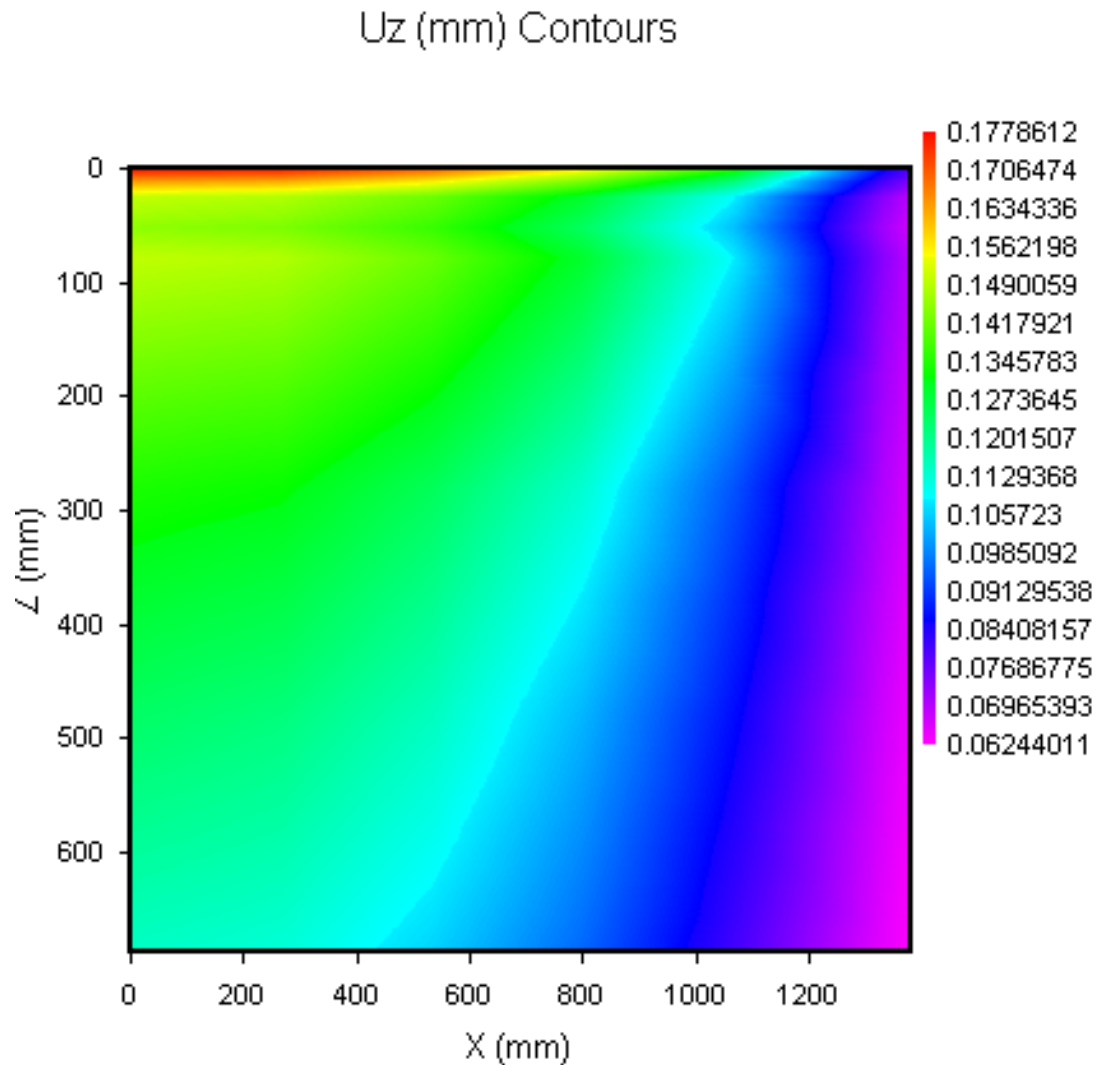
En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 4 cm de carpeta asfáltica, 60 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 90 Kg y una presión de llanta de 28 PSI.



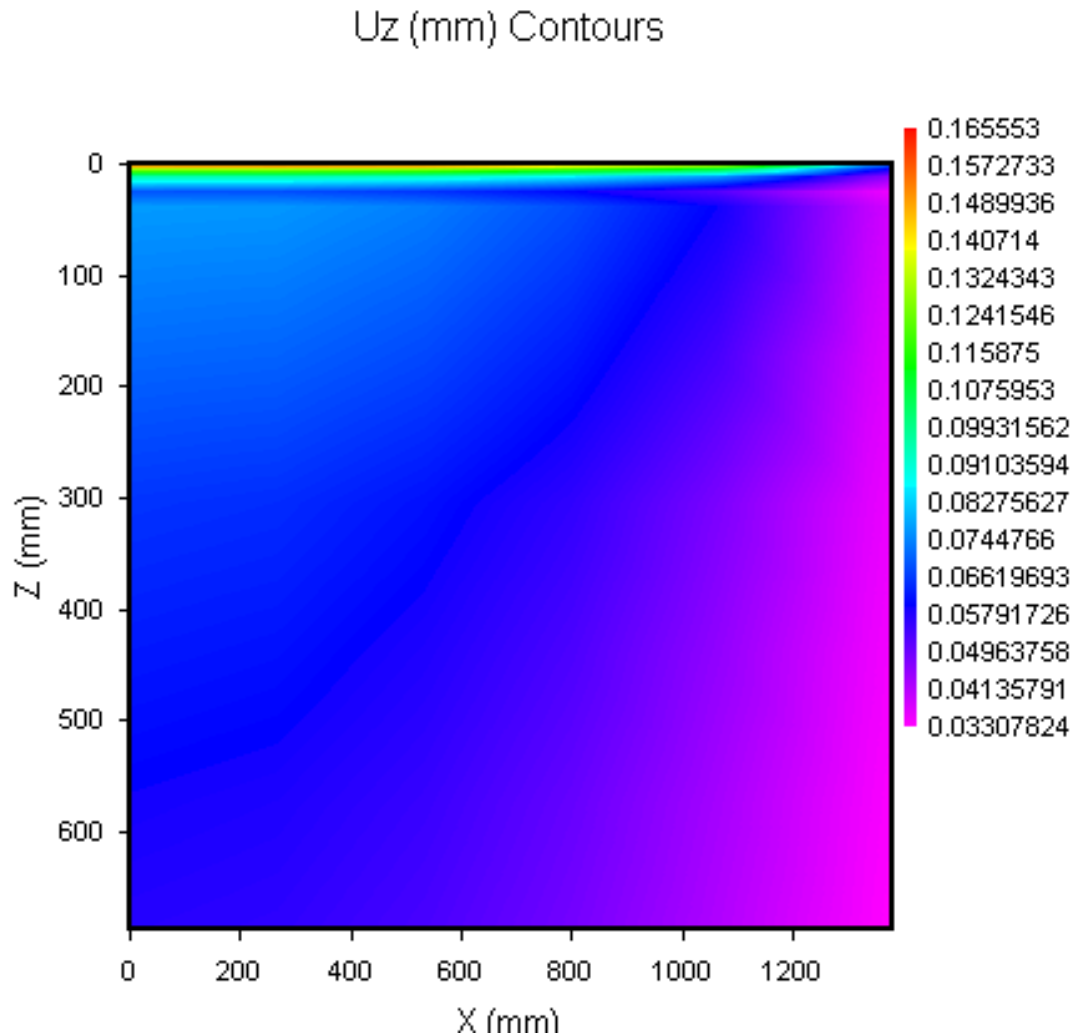
En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 6 cm de carpeta asfáltica, 60 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 90 Kg y una presión de llanta de 28 PSI.



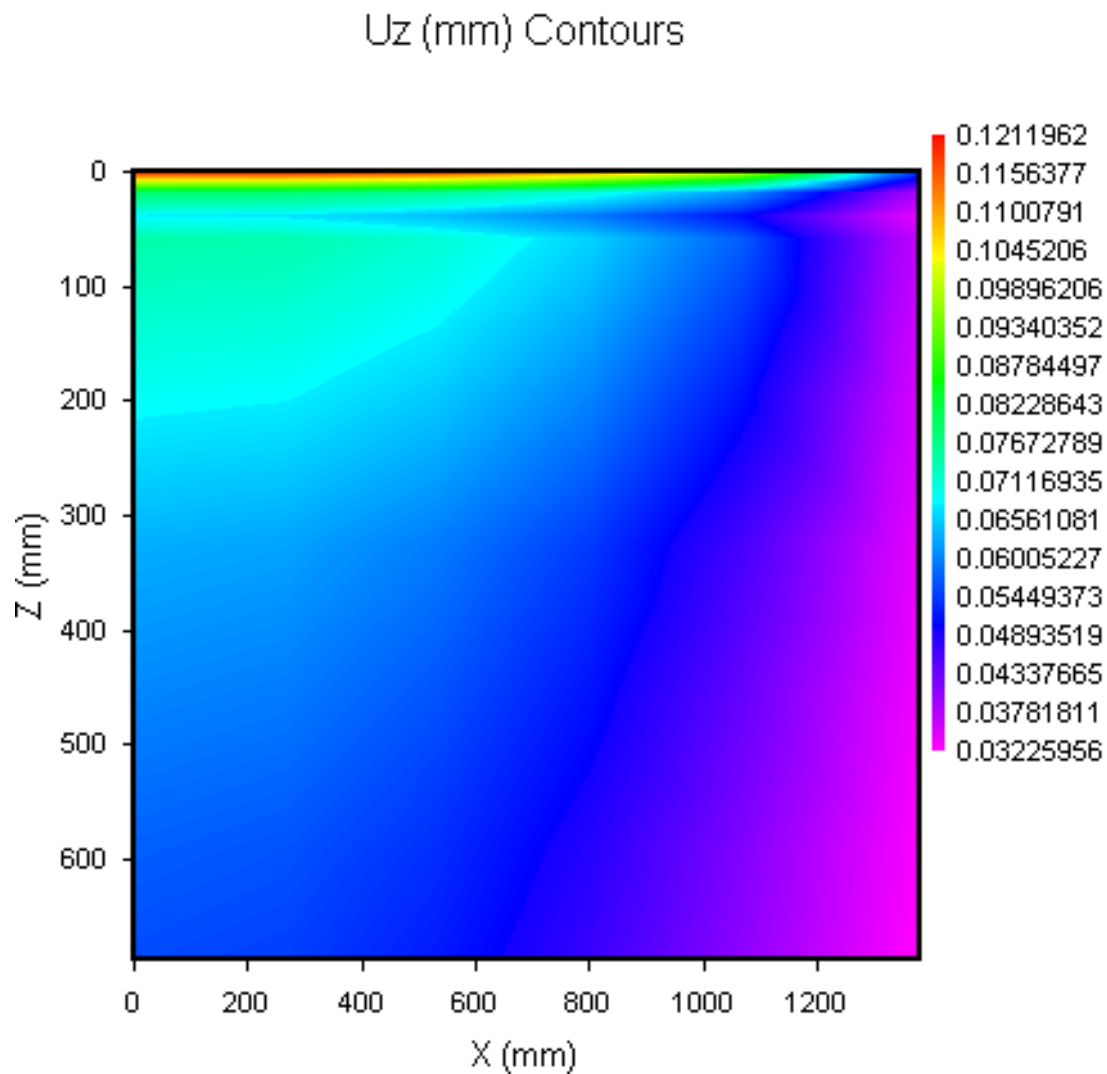
En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 8 cm de carpeta asfáltica, 60 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 90 Kg y una presión de llanta de 28 PSI.



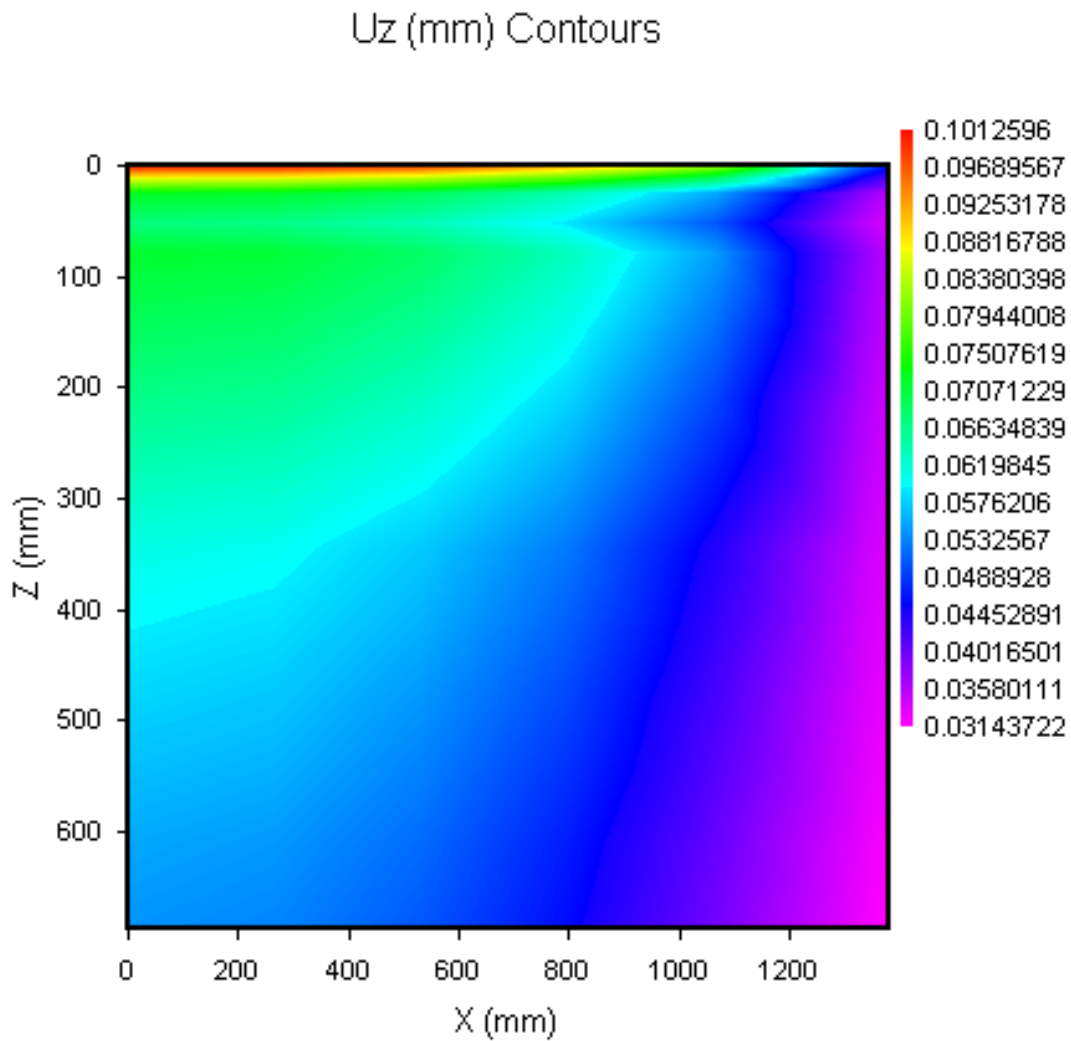
En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 4 cm de carpeta asfáltica, 80 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 100 Kg y una presión de llanta de 30 PSI.



En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 6 cm de carpeta asfáltica, 80 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 100 Kg y una presión de llanta de 30 PSI.



En la siguiente grafica de contornos se muestra las deformaciones en una estructura de pavimento conformada por 8 cm de carpeta asfáltica, 80 cm de granulares y 80 cm de subrasante; soportando una carga de 100 Kg y una presión de llanta de 30 PSI.



6. CONCLUSIONES

Se pudo determinar que la comparación con cada una de las alternativas, presentan una variación en espesores que representa, en cuanto a costo benéfico de mantenimiento, una alternativa factible la determinada en la investigación.

En el caso de obtener valores de CBR < 3 %, se debe realizar en todos los casos, mejoramiento de la subrasante.

Las deformaciones presentadas por las diferentes estructuras muestran el daño que es ocasionado por la repetitividad generada por las cargas de la bicicleta y además nos da la visión de poder obtener el mejor comportamiento de las diferentes capas estructurales.

La herramienta Everstress como programa de análisis de deformaciones, muestra claramente en su diagrama de espectro el comportamiento de las diferentes capas en análisis y expone como resultado que a medida que la capa asfáltica aumenta su espesor la acción producida por la llanta de la bicicleta es mucho menor.

El efecto de deformación a la tracción en la capa inferior de asfalto no es representativa con respecto al espesor de 5 cm, sin embargo, la deformación vertical en la subrasante si puede llegar afectar la estructura ya que en todos los casos están próximas a las admisibles de subrasante.

Se debe tener en cuenta los factores climáticos, que si pueden afectar la carpeta asfáltica.

El mantenimiento de la ciclorruta, mejora el nivel de serviciabilidad, para lo bici usuarios, logrando desplazamiento más seguro.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. AASHTO, A. A. (1993). Guide for Design of Pavement Structures.
2. Acosta, M. A. (2010). *Guía de uso de geosintéticos*. Bogotá: IDU
3. CONFICELL LS. (s.f.). Guía de Manejo e Instalación de Geoceldas para Sistemas de Soporte de Carga Aplicación de Geoceldas .Corredor, G. (2008). Maestría en Vías Terrestres, Modulo III Diseño de pavimentos I.
4. El Concejo de Bogotá, D. (2016). Auerdo 645. *Por el cual se adopta El Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C. 2016 - 2020 "Bogotá Mejor Para Todos"*.
5. El Concejo de Bogotá, D. C. (2006). Acuerdo 257. *Por el cual se dictan normas básicas sobre la estructura, organización y funcionamiento de los organismos y de las entidades de Bogotá, Distrito Capital, y se expiden otras disposiciones*.Elaborado por los Autores. (2018).
6. GI. (2017). IMV-PC Planes de Calidad de las Actividades Version 4.
7. Gonzalez, C. C. (2014). Comparativo técnico, económico, de tiempos de ejecución y tiempos de servicio entre sistemas constructivos convencionales y sistemas donde se usa la geo-celda tridimensional, en vías secundarias de la ciudad de bogotá, con características similares en la . Bogota: Universidad Catolica De Colombia
8. IDU. (2010). Guía Para el Buen Uso de Geosintéticos.
9. IDU. (2013). Guía de diseño de pavimentos con bajos volúmenes de tránsito y vías locales para la ciudad de Bogotá D.C.
10. IDU, I. d. (2018). *GISIDU*. Obtenido de <http://gisidu.idu.gov.co>
11. IDU-ET. (2011). Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público. Bogotá D.C.
12. INV-E. (2007). Método para medir deflexiones mediante deflectómetro de impacto FWD. Bogotá .
13. INVIAS. (2008). *Guia de Rehabilitacion*.
14. Javeriana, U. (2011). *Tesis de pregrado, Estudio del comportamiento de un material de subrasante típico de Bogotá estabilizado con un sistema de geoceldas ante la aplicación de ciclos de carga y descarga mediante pruebas de laboratorio* . Bogotá. Colombia.
15. Movilidad, S. D. (2017). Concepto Técnico No 16: Procedimiento para gestionar los Planes de Manejo de Tránsito.
16. PAVCO. (2014). Ficha técnica Refuerzo de vías permanentes con GEOCELDA.
17. Reyes, R. (2015). *Materiales Contruccion y Diseño*. Bogotá: ECO Ediciones.
18. Rondón&Reyes. (2015). *Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: ECO Ediciones.
19. SA, G. (Argentina de 2014). *Geoceldas SA tecnología de confinamiento celular*. Obtenido de <https://www.geoceldas.com/historia>
20. Sabaneta, M. d. (2009). Aforos y estudios de tránsito en Carrera 46 entre calles 75 y 77 sur, vías adyacentes y obras complementarias.

21. Sabogal, F. S. (2008). Diseño de Pavimientos Asfálticos Para Calles y Carreteras . Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieros.
22. Sanat Pokharel, M. N. (2010). Innovation in geotechnical and materials engineering . *Conference of the Transportation Association of Canada.*
23. Sanat Pokharel, M. N. (2017). Innovation in geotechnical and materials engineering,. *Conference of the, Transportation Association of Canada.*
24. Secretaria de Medio Ambiente Distrital. (2014). Resolución No. 0242. *Por la cual se adoptan los lineamientos para la formulación, concertación, implementación, evaluación, control y seguimiento del Plan Institucional de Gestión Ambiental –PIGA.*
25. SMVL. (2016). PDV-CP-001 Caracterización Planificación del Desarrollo Vial Local Version 5.
26. SMVL. (2016). PDV-PR-001 Procedimiento Evaluación de Vías Version 4.0.
27. UAERMV. (2017). *Prestar el servicio de transporte de residuos de construcción y demolición RCD, ya sean reutilizables o aprovechables, o de disposición final en escombreras autorizadas.*
28. UAERMV. (2018). Prestar el Servicio de Laboratorio de Suelos para la Elaboración de Estudios y Diseños de Pavimentos en la Subdirección Técnica de Mejoramiento de la Malla Vial Local de la UAERMV Ficha Técnica - Requerimientos y Especificaciones Mínimas De Contrato.
29. Valparaíso, U. C. (2003). Determinación de Módulo de Reacción.
30. Varela, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.